

## การประมาณค่าการยุบตัวของผนังด้วยวิธีการประมวลผลภาพ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
ปีการศึกษา 2562

**WALL COLLAPSE ESTIMATION WITH  
IMAGE PROCESSING**



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the  
Degree of Master of Engineering in Mechatronic Engineering**

**Suranaree University of Technology**

**Academic Year 2019**

## การประมาณค่าการยวบตัวของผนังด้วยวิธีการประมวลผลภาพ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

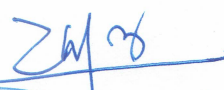
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(อ. ดร. ธีทัต ดลวิชัย)  
ประธานกรรมการ

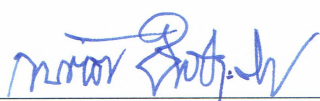


(รศ. ดร. จิระพล ศรีเสรีรัฐผล)  
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(รศ. ดร. บัณฑิต กฤตาคม)  
กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



(รศ. ร.อ. ดร. กนต์ธร ชำนิประศาสน์)  
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล



(รศ. ดร. พรศิริ จงกล)  
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

อภิรักษ์ อินทร์ชู : การประมาณค่าการยุบตัวของผนังด้วยวิธีการประมวลผลภาพ (WALL COLLAPSE ESTIMATION WITH IMAGE PROCESSING) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.จิระพล ศรีเสวีรัฐผล, 97 หน้า.

ในปัจจุบันมีอัตราการก่อสร้างอาคารและที่พักอาศัยเพิ่มมากขึ้น หนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการก่อสร้างคือ ประเภทของผนังที่ใช้การก่อสร้างอาคารและบ้านเรือน ซึ่งผนังแต่ละประเภทจะถูกใช้งานแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของอาคารหรือบ้านเรือน การเลือกประเภทของผนังที่นำมาใช้ในการก่อสร้างนั้นเป็นสิ่งสำคัญในการก่อสร้างจึงจำเป็นต้องทำการทดสอบความแข็งแรงของผนังและเลือกชนิดของผนังที่นำมาใช้ในการก่อสร้างให้เหมาะสมเพื่อป้องกันการเสียหาย โดยในการทดสอบความแข็งแรงของผนังเพื่อแบ่งประเภทของผนังตามมาตรฐาน BS 5234 จะใช้การทดสอบความแข็งแรงของผนังเมื่อถูกกระแทกด้วยวัสดุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่ (Large Soft Body Impact) โดยในการทดสอบจะใช้วิธีการวัดขนาดการยุบตัว (Residual Deflection) ด้วยการให้ทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลงความเหนียวนำแบบเชิงเส้น (Linear Variable Differential Transformer, LVDT) เป็นตัววัดการยุบตัวของผนัง ซึ่งอุปกรณ์นี้มีราคาแพงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะนำเสนอวิธีการวัดขนาดการยุบตัวของผนังด้วยวิธีการประมวลผลภาพ (Image Processing) เทคนิคการปรับการเบี่ยงเบนขณะปฏิบัติงาน (Operating Deflection Shape, ODS) และการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematics Model) เข้ามาประยุกต์ใช้ในการทดสอบ โดยนำผลการทดสอบที่ได้จากการใช้ทรานสดิวเซอร์และวิธีการประมวลผลภาพมาเปรียบเทียบความแม่นยำกัน ได้นำผลการทดสอบมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบที่ทำการทดสอบ และได้นำเทคนิคการปรับการเบี่ยงเบนขณะปฏิบัติงานมาจำลองพฤติกรรมการสั่นของผนังเพื่อลดค่าใช้จ่ายและความซับซ้อนในการทดสอบความแข็งแรงของผนัง

สาขาวิชา วิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์  
ปีการศึกษา 2562

ลายมือชื่อนักศึกษา อภิรักษ์ อินทร์ชู  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา [ลายมือ]



APIRAK INCHOO : WALL COLLAPSE ESTIMATION WITH IMAGE  
PROCESSING. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. JIRAPHON  
SRISERTPOL, Ph.D., 97 PP.

LARGE SOFT BODY IMPACT/DISTANCE MEASUREMENT USING IMAGE  
PROCESSING/OPERATING DEFLECTION SHAPE (ODS)

At the present, the rate of construction of building and residences is increasing. One of the important factor is the type of wall. Each type of wall will be used differently depending on the suitability of the building or residences. Wall type selection is important, so it necessary to test the strength and choose the type of wall that is suitable for construction in order to prevent damage. Wall strength test to classify the wall according to BS 5234 standard, a large soft impact test is used. In the test, the residual deflection method is used by the LVDT (Linear Variable Differential Transformer) transducer as a measure of wall collapse but this equipment is expensive and must be imported from foreign counties. Therefore, this paper will present the method of measuring residual deflection using image processing, Operating Deflection Shape and Mathematics model for application. By using the result from LVDT transducer and Image Processing methods to compare the accuracy. The test results were used to create a mathematical model of tested system and Operating Deflection Shape to simulate vibration behavior of wall for reduce the cost and complexity of wall strength testing.

School of Mechatronics Engineering

Academic year 2019

Student's Signature Apirak Inchoo

Advisor's Signature Surtal J

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่องนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.จิระพล ศรีเสริญผล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ทั้งในด้านการดำเนินงานวิจัยและด้านการดำรงชีวิต ตลอดทั้งช่วยตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่และเมตตาเป็นอย่างสูง ตลอดเวลาที่ได้ดำเนินงานวิจัยและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณของอาจารย์เป็นอย่างยิ่ง

ขอกราบขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ทุกท่านได้เสียสละเวลาอันมีค่าเพื่อให้คำแนะนำและชี้แนวทางในการแก้ไข พร้อมให้ข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์จนวิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์ถูกต้องยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุเทน ถิ่นถาวร ที่ให้ความรู้ในด้านวิชาการที่เป็นประโยชน์ในการดำเนินงานวิจัย ซึ่งผู้วิจัยนำมาประยุกต์ใช้จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จได้

ขอกราบขอบพระคุณบุคคลต่อไปนี้ที่ได้ให้ความช่วยเหลือผู้วิจัยในด้านต่าง ๆ เป็นอย่างดี จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ซึ่งผู้วิจัยจะขอจดจำไว้ตลอดไป

สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) ที่ได้มอบทุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาแก่ผู้วิจัย ตลอดจนค่าใช้จ่ายในการดำรงชีวิต

ศูนย์วิจัย SIE-CON สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้การสนับสนุนในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิจัยนี้

อาจารย์ ดร.นิติศักดิ์ หนูมาน้อย ที่ให้ความช่วยเหลือ คำปรึกษา และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในระหว่างดำเนินงานวิจัยนี้

เจ้าหน้าที่ประจำสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้อำนวยความสะดวกในด้านเอกสารต่าง ๆ

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และสมาชิกครอบครัวอันเป็นที่รักและห่วงใยในการทำวิทยานิพนธ์และให้การอุปการะเลี้ยงดูด้วยความรักความอบอุ่น ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัย จนสามารถจัดทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

อภิรักษ์ อินทร์ชู

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ญ
<b>บทที่</b>	
<b>1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย.....	3
1.5 สถานที่ทำงานวิจัย.....	3
1.6 เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย.....	4
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.8 การจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์.....	4
<b>2 ปรัชญ่วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>6</b>
2.1 บทนำ.....	6
2.2 การทดสอบความแข็งแรงของผนังตามมาตรฐาน BS 5234.....	6
2.3 การทดสอบความแข็งแรงของผนังเมื่อถูกวัสดุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่กระแทก.....	6
2.3.1 การทดสอบความต้านทานต่อการเสียหาย.....	8
2.3.2 การทดสอบความต้านทานต่อการเสียหาย.....	9
2.4 ทรานสดิวเซอร์.....	10
2.5 ภาพและความหมายของฟิสิกเซล.....	12

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6	แบบจำลองสี.....	12
2.6.1	แบบจำลองสี RGB.....	13
2.6.2	แบบจำลองสี HSV.....	13
2.7	การแยกลักษณะเฉพาะของภาพ.....	14
2.8	การประมวลภาพ.....	15
2.8.1	ภาพไบนารี.....	17
2.8.2	ภาพระดับสีเทา.....	18
2.8.3	ภาพสี.....	19
2.9	การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา.....	20
2.10	สีเหลี่ยมในการปิดล้อมวัตถุ.....	20
2.11	การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา.....	20
2.12	เกาส์เซียน เบลอ.....	22
2.13	การแปลงข้อมูลภาพนาล็อกเป็นข้อมูลภาพเชิงเลข.....	23
2.14	คุณลักษณะของข้อมูลเชิงเลข.....	23
2.15	ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	25
2.15.1	หลักการของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	25
2.15.2	โปรแกรมสำหรับระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	26
2.15.3	ขั้นตอนของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	27
2.16	เทคนิคการร่างการเบี่ยงเบนขณะปฏิบัติงาน.....	30
2.16.1	การเก็บข้อมูลในการพิจารณา.....	30
2.16.2	การเก็บข้อมูลในการพิจารณาแบบหลายจุดวัด.....	30
2.17	การสันแบบบังคับ.....	31
2.17.1	แรงดล.....	32
2.18	ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	34
2.18.1	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบแรงกระแทก.....	34
2.18.2	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการประมวลผล.....	35

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.18.3	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	36
2.19	สรุปผลทฤษฎีและปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	36
<b>3</b>	<b>วิธีดำเนินการวิจัย.....</b>	<b>38</b>
3.1	บทนำ.....	38
3.2	วิธีการทดสอบ.....	38
3.2.1	การติดตั้งชุดทดสอบ.....	39
3.3	การเก็บข้อมูลของการทดสอบโดยใช้ทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลง ความเหนียวนำแบบเชิงเส้น.....	40
3.4	การเก็บข้อมูลของการทดสอบโดยวิธีประมวลผลภาพ.....	42
3.4.1	ติดตั้งอุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูล.....	42
3.4.2	แปลงไฟล์วิดีโอเป็นไฟล์รูปภาพ.....	43
3.4.3	ปรับสีเป็นภาพระดับสีเทา.....	43
3.4.4	กำหนดพื้นที่ที่สนใจหรือกำหนดขอบเขต.....	44
3.4.5	หาขอบเขตของรูป.....	44
3.4.6	หาขนาดการยุบตัวของผนัง.....	45
3.5	การใช้เทคนิคการประมวลผลเชิงเบนขณะปฏิบัติงานด้วยโปรแกรม ME'ScopeVES.....	45
3.6	สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และสมการความสัมพันธ์ของระบบ.....	48
3.6.1	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทดสอบความแข็งแรง ของผนังเมื่อถูกกระแทกด้วยวัสดุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่.....	49
3.6.2	สมการของระบบสำหรับสร้างแผนภาพบล็อก.....	49
3.6.3	แผนภาพบล็อกสำหรับสมการความสัมพันธ์ของระบบ.....	52
3.6.4	การประมาณค่าพารามิเตอร์.....	53
3.7	สรุป.....	56
<b>4</b>	<b>ผลการดำเนินการวิจัยและการอภิปรายผล.....</b>	<b>58</b>
4.1	บทนำ.....	58

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2	ผลการทดสอบด้วยการใช้ทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลง ความเหนี่ยวนำแบบเชิงเส้น .....	58
4.3	ผลการทดสอบด้วยวิธีการประมวลผลภาพ.....	59
4.4	เปรียบเทียบผลการทดสอบจากการใช้ทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลง ความเหนี่ยวนำแบบเชิงเส้นและวิธีการประมวลผลภาพ.....	60
4.5	ประมาณค่าพารามิเตอร์สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วย โปรแกรม MATLAB/Simulink.....	62
4.5.1	ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ การทดสอบด้วยการใช้ทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลง ความเหนี่ยวนำแบบเชิงเส้น .....	64
4.5.2	ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ การทดสอบด้วยวิธีการประมวลผลภาพ.....	65
4.6	ผลการทดสอบด้วยการใช้เทคนิครูปร่างการเบี่ยงเบนขณะปฏิบัติงาน ด้วยโปรแกรม ME' scopeVES.....	67
4.6.1	เทคนิครูปร่างการเบี่ยงเบนขณะปฏิบัติงานด้วยข้อมูลที่ได้จากการ ใช้ทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลงความเหนี่ยวนำแบบเชิงเส้น .....	67
4.6.2	เทคนิครูปร่างการเบี่ยงเบนขณะปฏิบัติงานด้วยข้อมูลที่ได้จากการ ใช้วิธีการประมวลผลภาพ .....	70
4.6.3	เทคนิครูปร่างการเบี่ยงเบนขณะปฏิบัติงานด้วยข้อมูลที่ได้จากการ สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และประมาณค่าพารามิเตอร์ .....	73
4.7	สรุปการดำเนินการวิจัย.....	76
5	สรุปและข้อเสนอแนะ .....	78
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	78
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	79
	รายการอ้างอิง .....	80



## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

### ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. การใช้โปรแกรมเพื่อปรับภาพเป็นภาพระดับสีเทา เบลอภาพ และหาขอบภาพ .....	81
ภาคผนวก ข. โปรแกรมสำหรับการคำนวณระยะห่างระหว่างวัตถุกับกล้องด้วย โปรแกรม Visual Studio Code .....	85
ภาคผนวก ค. โปรแกรมสำหรับสร้างแบบจำลองเพื่อคูพฤติกรรมการณ์สั้นของผนัง .....	88
ภาคผนวก ง. โปรแกรมสำหรับการประมาณค่าพารามิเตอร์ (Parameter Estimation).....	92
ประวัติผู้เขียน .....	97



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การแบ่งประเภทของผนัง .....	7
2.2 การทดสอบของผนังแต่ละเกรด .....	10
2.3 ค่ามาตรฐานการยุบตัวของผนังแต่ละเกรด .....	10
4.1 ขนาดการยุบตัวสูงสุดและค่าความผิดพลาดของจุดทดสอบในแต่ละจุด .....	62
4.2 ขนาดการยุบตัวสูงสุดและค่าความผิดพลาดจากการประมาณค่าพารามิเตอร์ ด้วยข้อมูลจากการใช้ทรานสดิวเซอร์ .....	65
4.3 ขนาดการยุบตัวสูงสุดและค่าความผิดพลาดจากการประมาณค่าพารามิเตอร์ ด้วยข้อมูลจากวิธีการประมวลผลภาพ .....	66

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างผนังทดสอบ .....	8
2.2 การทดสอบความแข็งแรงของผนังเมื่อถูกกระแทกโดยวัสดุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่ .....	9
2.3 ลักษณะ โครงสร้างและการต่อวงจร .....	11
2.4 ค่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตของทรานสดิวเซอร์โดยแกนเคลื่อนที่อยู่ในตำแหน่งใด ๆ .....	11
2.5 ตำแหน่งของพิกเซล .....	12
2.6 แบบจำลองสี RGB .....	13
2.7 แบบจำลอง HSV .....	14
2.8 ขั้นตอนการประมวลผลภาพ .....	15
2.9 การแปลงภาพอนาล็อกให้เป็นภาพดิจิทัล .....	16
2.10 ภาพแบบไบนารีหรือภาพขาว-ดำ .....	18
2.11 ภาพแสดงระดับสีเทา .....	19
2.12 ภาพแสดงแบบ RGB .....	19
2.13 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา .....	20
2.14 แนวความคิดการสร้างสีเหลี่ยมในการปิดล้อมวัตถุ .....	21
2.15 การหาขอบภาพ .....	22
2.16 การทำเกาส์เซียน เบลอ .....	22
2.17 การแปลงข้อมูลภาพอนาล็อกเป็นข้อมูลภาพเชิงเลข .....	23
2.18 คุณลักษณะข้อมูลภาพจากการรับรูปจากระยะไกล .....	24
2.19 การแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล .....	25
2.20 การแบ่งชิ้นงานขนาดใหญ่ออกให้เป็นชิ้นงานขนาดเล็ก ๆ .....	26
2.21 การลดพื้นที่ให้มีขนาดเล็กกลดเพื่อลดความคลาดเคลื่อน .....	26
2.22 การแบ่งรูปร่างของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยแบบต่าง ๆ กัน .....	27
2.23 เอลิเมนต์สามเหลี่ยมแบบอย่างประกอบด้วยสามจุดต่อ .....	28
2.24 ตัวอย่างการวัดแบบหลายจุดของปล่องลมระบายความร้อน .....	31

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.25	แรงคลที่กระทำระบบลำดับชั้นความเป็นอิสระเท่ากับหนึ่ง.....33
3.1	ขั้นตอนการดำเนินงานและวิจัย.....39
3.2	ชุดทดสอบความแข็งแรงของผนังเมื่อถูกกระแทกด้วยวัสดุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่ .....40
3.3	อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลด้วยทรานสดิวเซอร์ .....41
3.4	ตำแหน่งจุดทดสอบบนผนัง .....41
3.5	แผนภาพบล็อกสำหรับเก็บข้อมูลผ่านโปรแกรม LabVIEW .....42
3.6	สติกเกอร์รูปสี่เหลี่ยมที่ได้ทำการติดแผ่นทดสอบ.....42
3.7	การแปลงไฟล์วิดีโอเป็นไฟล์รูปภาพด้วยโปรแกรม Video to JPG Converter .....43
3.8	การปรับภาพสีเป็นภาพระดับสีเทาของรูปที่นำมาวิเคราะห์.....43
3.9	การกำหนดพื้นที่ที่สนใจหรือกำหนดขอบเขตของรูปที่นำมาวิเคราะห์ .....44
3.10	การหาขอบภาพของรูปนำมาวิเคราะห์ .....44
3.11	ระยะห่างระหว่างผนังกับวัตถุโดยเปรียบเทียบกับรูปอ้างอิง .....45
3.12	รูปร่างและจำนวนจุดที่นำมาประมาณค่าของแบบจำลอง .....46
3.13	จำนวนข้อมูลของทุกจุดบนแบบจำลอง.....47
3.14	ลักษณะการสั้นของแบบจำลองที่ขนาดการยุบสูงสุด .....48
3.15	แบบจำลองของผนังที่ถูกกระจายแรง .....48
3.16	แผนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ.....49
3.17	แผนภาพอิสระของวัตถุที่ตำแหน่งตรงกลางของผนัง .....50
3.18	แผนภาพอิสระของวัตถุที่ตำแหน่งต่าง ๆ .....51
3.19	แผนภาพบล็อกที่สร้างมาจากสมการความสัมพันธ์ .....53
3.20	พารามิเตอร์ที่ถูกเก็บไว้ในพื้นที่ทำงาน .....53
3.21	การเลือกพารามิเตอร์ที่นำมาประมาณค่า .....54
3.22	การกำหนดขอบเขตของพารามิเตอร์ .....55
3.23	การเพิ่มข้อมูลที่ได้จากการทดสอบจริง .....55
3.24	ลักษณะกราฟการสั้นที่ได้จากการจำลอง .....56

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1	ขนาดการยวบตัวของผนังที่ตำแหน่งต่าง ๆ โดยใช้ทรานสดิวเซอร์เป็นอุปกรณ์ ตรวจวัด .....59
4.2	ขนาดการยวบตัวของผนังที่ตำแหน่งต่าง ๆ ด้วยวิธีการประมวลผลภาพ .....60
4.3	ขนาดการยวบตัวของผนังที่ตำแหน่งต่าง ๆ โดยใช้ทรานสดิวเซอร์เป็นอุปกรณ์ ตรวจวัดและวิธีประมวลผลภาพ .....61
4.4	แผนภาพบล็อกสำหรับการประมาณค่าพารามิเตอร์ .....62
4.5	พารามิเตอร์ที่ได้จากการประมาณค่า .....63
4.6	ขนาดการยวบตัวที่ได้จากการประมาณค่าพารามิเตอร์ .....63
4.7	ขนาดการยวบตัวของผนังที่ตำแหน่งต่าง ๆ โดยใช้ทรานสดิวเซอร์เป็นอุปกรณ์ ตรวจวัดและการประมาณค่าพารามิเตอร์ .....64
4.8	ขนาดการยวบตัวที่ตำแหน่งต่าง ๆ จากวิธีการประมวลผลภาพและการประมาณ ค่าพารามิเตอร์ .....66
4.9	การตีกริดแบบจำลองในโปรแกรม ME'scopeVES .....67
4.10	จำนวนคาบเวลาในการจำลองโดยการใช้ทรานสดิวเซอร์เป็นอุปกรณ์ตรวจวัด .....67
4.11	ลักษณะการสั่นของผนังด้วยเทคนิคการเปรียบเทียบขณะปฏิบัติงานจาก การใช้ทรานสดิวเซอร์ ชนิดเปลี่ยนแปลงความเหนียวแบบเชิงเส้น .....68
4.12	จำนวนคาบเวลาในการจำลองด้วยวิธีประมวลผลภาพ .....71
4.13	ลักษณะการสั่นของผนังด้วยเทคนิคการเปรียบเทียบขณะปฏิบัติงานจาก วิธีประมวลผลภาพ .....71
4.14	จำนวนคาบเวลาในการจำลองด้วยเทคนิคเปรียบเทียบรูปร่างขณะปฏิบัติงาน .....74
4.15	ลักษณะการสั่นของผนังด้วยเทคนิคการเปรียบเทียบขณะปฏิบัติงาน จากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และประมาณค่าพารามิเตอร์ .....74
ก.1	โปรแกรม Visual Studio Code เพื่อปรับภาพเป็นระดับสีเทา เบลอภาพ .....71 และหาขอบภาพ .....82
ก.2	โค้ดในภาพเป็นภาพระดับสีเทา เบลอภาพ และหาขอบภาพ .....82
ก.3	ขั้นตอนการนำข้อมูลเข้า .....83

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.4 ผลการปรับภาพเป็นภาพระดับสีเทา.....	83
ก.5 ผลการจำกัดขอบภาพ .....	84
ข.1 โคล์ดสำหรับการคำนวณระยะห่างระหว่างวัตถุกับกล้อง .....	86
ข.2 โคล์ดสำหรับนำรูปเข้าโปรแกรมและแสดงระยะห่างระหว่างวัตถุกับกล้อง.....	87
ข.3 รูปอ้างอิง .....	87
ข.4 รูปที่ผ่านการคำนวณโดยอ้างอิงจากรูปแรก.....	87
ค.1 โปรแกรมสำหรับสร้างแบบจำลอง.....	89
ค.2 การสร้างแบบจำลองด้วยเครื่องมือ Drawing Assistant .....	90
ค.3 การนำข้อมูลที่ได้เตรียมไว้มาใช้ในจุดที่กำหนด .....	90
ค.4 รายละเอียดโครงสร้างของโมเดล .....	90
ค.5 การทำประมาณค่าเพื่อให้การจำลองมีความสมจริงมากขึ้น .....	91
ค.6 การจำลองเพื่อคุณลักษณะหรือพฤติกรรมการสั้น .....	91
ง.1 โปรแกรมสำหรับสร้างแบบจำลอง.....	93
ง.2 การสร้างแบบจำลองด้วยเครื่องมือ Drawing Assistant .....	94
ง.3 การนำข้อมูลที่ได้เตรียมไว้มาใช้ในจุดที่กำหนด .....	94
ง.4 รายละเอียดโครงสร้างของโมเดล .....	94
ง.5 การทำประมาณค่าเพื่อให้การจำลองมีความสมจริงมากขึ้น .....	95
ง.6 การจำลองเพื่อคุณลักษณะหรือพฤติกรรมการสั้น .....	95
ง.7 เลือกข้อมูลที่จะนำมาอ้างอิงกับการประมาณค่า .....	95
ง.8 ทำการประมาณค่าพารามิเตอร์ .....	96



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย

ปัจจุบันมีอัตราการก่อสร้างอาคารและที่พักอาศัยมากขึ้น หนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการก่อสร้างคือ ประเภทผนังที่ใช้การก่อสร้างอาคารและบ้านเรือน โดยประเภทของผนังถูกแบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ ระดับการใช้งานเบา (Light Duty) ระดับการใช้งานปานกลาง (Medium Duty) ระดับการใช้งานหนัก (Heavy Duty) และระดับการใช้งานสูงมาก (Severe Duty) ซึ่งผนังแต่ละประเภทจะถูกใช้งานแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของอาคารหรือบ้านเรือนในการเลือกประเภทของผนังที่ใช้ในการก่อสร้างนั้น หากเลือกผนังที่นำมาใช้ในการก่อสร้างอาคารบ้านเรือนผิดประเภทอาจทำให้เกิดการเสียหาย และผลที่ตามมาก็คือ ทรัพย์สินเกิดการเสียหายหรือกรณีร้ายแรงก็คือ ผู้คนที่อาศัยอยู่ภายในอาคารบ้านเรือนได้รับบาดเจ็บหรืออาจเสียชีวิตได้ จึงจำเป็นต้องทำการทดสอบความแข็งแรงของผนังและเลือกชนิดของผนังที่นำมาใช้ในการก่อสร้างให้เหมาะสมเพื่อป้องกันการเสียหาย โดยการทดสอบความแข็งแรงของผนังเพื่อแบ่งประเภทของผนังตามมาตรฐาน (BS 5234) จะถูกแบ่งออกเป็น 7 ประเภท ได้แก่ ความแข็งแรงของผนังในการรับแรงกด (Partition Stiffness) ความแข็งแรงของผนังเมื่อถูกกระแทกด้วยวัสดุแข็งขนาดเล็ก (Small Hard Body Impact) ความแข็งแรงของผนังเมื่อถูกกระแทกด้วยวัสดุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่ (Large Soft Body Impact) ความทนทานของผนังเมื่อทำการเปิด-ปิดประตูซ้ำ ๆ (Door Slamming) ทดสอบการรับแรงของผนังในแบบกระจายแรง (Crowd Pressure) ทดสอบการรับแรงด้วยการแขวนวัสดุ (Light Weight Anchorage) และทดสอบการรับแรงของชั้นวางของ (Heavy Weight Anchorage) โดยในการทดสอบความแข็งแรงของผนังทุกประเภทตามมาตรฐาน (BS 5234) จะใช้ทรานสดิวเซอร์เป็นอุปกรณ์ในการตรวจวัดค่า ซึ่งการทดสอบความแข็งแรงของผนังเมื่อถูกกระแทกโดยวัสดุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่จะถูกแรงกระแทกด้วยแรงมากที่สุดและจะส่งผลกับทรานสดิวเซอร์โดยตรงจากปริศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบความแข็งแรงของผนังเมื่อถูกกระแทกด้วยวัสดุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่ มีจุดประสงค์เพื่อแบ่งประเภทของผนังซึ่งเป็นวิธีที่แพร่หลายแต่วิธีนี้อาจมีความคลาดเคลื่อนจากการที่ทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลงความเหนียวนำแบบเชิงเส้น (Linear Variable Differential Transformer, LVDT) ถูกกระแทกหลาย ๆ ครั้ง ทำให้เกิดความเสียหายภายในทรานสดิวเซอร์ทำให้ค่าที่อ่านได้จากการทดสอบมีความคลาดเคลื่อน จึงต้องทำการสั่งซื้อทรานสดิวเซอร์ใหม่จากต่างประเทศที่มีราคาแพงและใช้เวลาในการจัดส่งนาน

งานวิจัยนี้จะนำเสนอการทดสอบความแข็งแรงของผนังเพื่อแบ่งประเภทของผนัง ซึ่งจะใช้การทดสอบความแข็งแรงของผนังเมื่อถูกกระแทกด้วยวัสดุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่ ในการทดสอบจะใช้วิธีการวัดค่าขนาดการยุบตัวสูงสุด (Maximum Residual Deflection) โดยใช้ทรานสดิวเซอร์เป็นอุปกรณ์ในการตรวจวัดเพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับเทคนิควิธีประมวลผลภาพ (Image Processing) ด้วยการนำรูปภาพที่ได้จากการถ่ายภาพผนังในช่วงเวลาที่วัสดุอ่อนนุ่มตกกระทบบนผนัง และใช้เทคนิครูปร่างการเบี่ยงเบนขณะปฏิบัติงาน (Operating Deflection Shape) จำลองพฤติกรรมการสั่นของผนังด้วยโปรแกรม ME'scopeVES และได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematics Model) เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ (Parameter) ที่มีผลกระทบต่อพฤติกรรมการสั่นด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink มาช่วยเพิ่มความแม่นยำและความรวดเร็วในการทดสอบครั้งต่อไป หากมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของแรง (Force) ที่ใช้ในการกระแทกผนัง ซึ่งจะนำผลการทดสอบที่ได้จากการใช้ทรานสดิวเซอร์ ผลการทดสอบที่ได้จากวิธีการประมวลผลภาพ และผลการทดสอบที่ได้จากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาวิเคราะห์และเปรียบเทียบความแม่นยำ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อพัฒนาวิธีการวัดขนาดการยุบตัวของผนังทดสอบด้วยกล้องถ่ายภาพ
- 1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบวิธีการวัดขนาดการยุบตัวของผนังด้วยการใช้ทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลงความเหนียวนำแบบเชิงเส้นกับการวัดด้วยวิธีประมวลผลภาพ
- 1.2.3 เพื่อศึกษาการตอบสนองทางพลวัตของการทดสอบด้วยเทคนิครูปร่างการเบี่ยงเบนขณะปฏิบัติงาน

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 ใช้การทดสอบประเภทการทดสอบความแข็งแรงของผนังเมื่อถูกกระแทกด้วยวัสดุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่
- 1.3.2 ใช้ทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลงความเหนียวนำแบบเชิงเส้นเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดค่าการยุบตัวของกำแพงด้วยโปรแกรม LabVIEW
- 1.3.3 ใช้วิธีประมวลผลภาพวิเคราะห์รูปภาพเพื่อหาขนาดการยุบตัวของผนังด้วยโค้ดไพธอนที่ทำงานร่วมกับโปรแกรม Visual Studio Code
- 1.3.4 ใช้เทคนิครูปร่างการเบี่ยงเบนขณะปฏิบัติงานเพื่อจำลองลักษณะการสั่นของแบบจำลอง 2 มิติของผนังด้วยโปรแกรม ME'scopeVES
- 1.3.5 ใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ เพื่อพิจารณาพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อพฤติกรรมการสั่นของผนัง

1.3.6 ใช้กล้องจากโทรศัพท์รุ่น iPhone XS ที่มีเฟรมเรต (Frame rate) เท่ากับ 60 FPS (Frame per Second) และมีความละเอียดของพิกเซลเท่ากับ 12 ล้านพิกเซล

1.3.7 ใช้เหล็กแผ่นรีดร้อน เกรด SS 400 ขนาด 610×530 มิลลิเมตร เป็นแผ่นทดสอบในการทดสอบความแข็งแรงของผนังเมื่อถูกกระแทกด้วยวัตถุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่

## 1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

1.4.1 ค้นคว้าองค์ความรู้ ทฤษฎี และเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบความแข็งแรงของผนัง การประมวลผลภาพด้วยรูปภาพ และหลักการในการวัดค่าการยุบตัวของผนัง (Residual Deflection)

1.4.2 ออกแบบและติดตั้งชุดทดสอบความแข็งแรงของผนัง

1.4.3 เขียนโปรแกรมที่ใช้ในการประมวลผลภาพในการหาค่าการยุบตัวของผนัง

1.4.4 นำทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลงความเหนียวมาแบบเชิงมาทำการวัดค่าการยุบตัวของผนังผ่านโปรแกรม LabVIEW เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลการประมวลผลภาพ

1.4.5 ทำการวัดค่าการยุบตัวของผนังด้วยกล้อง โดยนำภาพที่ได้มาเปลี่ยนเป็นภาพระดับสีเทา (Gray Level) และทำการจำกัดพื้นที่ที่สนใจ เพื่อคำนวณหาพิกเซล (Pixel) ของแต่ละภาพ

1.4.6 ทำแบบจำลอง 2 มิติ ด้วยโปรแกรม ME'scopeVES เพื่อหาขนาดการยุบตัวและลักษณะการยุบตัวของผนัง

1.4.7 นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบด้วยทรานสดิวเซอร์และการประมวลผลภาพมาเปรียบเทียบขนาดการยุบตัวของผนัง เพื่อหาค่าความผิดพลาดพร้อมวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้ค่าเกิดความผิดพลาด

1.4.8 นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบด้วยทรานสดิวเซอร์และการประมวลผลภาพมาสร้างแบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบขนาดและลักษณะการยุบตัวในแต่ละช่วงเวลา

1.4.9 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อจำลองการทดสอบและเปรียบเทียบความแม่นยำจากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบเมื่อใช้ทรานสดิวเซอร์เป็นอุปกรณ์ในการตรวจวัดและวิธีประมวลผลภาพ

1.4.10 สรุปผลงานวิจัย ข้อเสนอแนะ และเผยแพร่ผลงานวิจัย

1.4.11 จัดทำเอกสารและรายงานวิจัย

## 1.5 สถานที่ทำงานวิจัย

อาคารเครื่องมือ 4 (F4) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## 1.6 เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย

1. ชุดทดสอบความแข็งแรงของผนัง
2. อุปกรณ์ชุดทดสอบ NI (National Instrument)
  - CompactDAQ USB Chassis
  - NI DAQ device
  - สาย LAN
  - ทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลงความเหนียวนำแบบเชิงเส้น
3. โทรศัพท์มือถือรุ่น iPhone XS
4. คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลรุ่น Acer Nitro 5
5. ใช้โปรแกรม LabVIEW เพื่อใช้ในการเก็บค่าจากทรานสดิวเซอร์
6. ใช้โปรแกรม Visual Studio Code สำหรับการประมวลผลภาพ
7. ใช้โปรแกรม ME'scopeVES เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองและพิจารณาลักษณะการยุบตัวของผนัง
8. ใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการทดสอบ

## 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.7.1 สามารถประยุกต์ใช้วิธีการประมวลผลภาพสำหรับการวิเคราะห์ขนาดการยุบตัวและพฤติกรรมการสันสเทือนของผนังด้วยกล้องถ่ายภาพได้
- 1.7.2 สามารถลดการใช้อุปกรณ์สำหรับการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดสำหรับการทดสอบความแข็งแรงของผนังได้
- 1.7.3 สามารถอธิบายพฤติกรรมการสันสเทือนและขนาดการยุบตัวของผนังหลังจากถูกกระแทกด้วยวัสดุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่ เพื่อปรับปรุงผนังให้มีความแข็งแรงขึ้นได้

## 1.8 การจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

บทที่ 1 เป็นบทนำ ซึ่งจะกล่าวถึงที่มาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ หลักการสมมุติฐาน และกรอบแนวความคิด ตลอดจนขอบเขตและประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบความแข็งแรงของผนังเมื่อถูกกระแทกด้วยวัสดุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่ การประมวลผลภาพ การสร้างแบบจำลอง 2 มิติด้วยเทคนิคเบี่ยงเบนรูปร่างขณะปฏิบัติงานเพื่อวิเคราะห์ลักษณะรูปร่างการยุบตัวและพฤติกรรมการสันของผนัง และการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการจัดซื้ออุปกรณ์และลดเวลาในการทดสอบครั้งถัดไป

บทที่ 3 บรรยายถึงวิธีดำเนินงานวิจัย โดยใช้ทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลงความเหนียวนำแบบเชิงเส้นเป็นอุปกรณ์ในการวัดขนาดการยุบตัวของผนังผ่านโปรแกรม LabVIEW และใช้วิธีการประมวลผลภาพด้วยโปรแกรม Visual Studio Code ซึ่งจะนำทั้งสองวิธีมาเปรียบเทียบเพื่อตรวจสอบความแม่นยำของวิธีการประมวลผลภาพ ใช้เทคนิครูปร่างการเบี่ยงเบนขณะปฏิบัติงานด้วยโปรแกรม ME'scopeVES เพื่อคุณลักษณะการสั้นของผนัง และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับการทดสอบจริง

บทที่ 4 แสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ทรานสดิวเซอร์เป็นอุปกรณ์ในการตรวจวัดค่า ผลการทดสอบด้วยวิธีการประมวลผลภาพ ลักษณะการยุบตัวของการทดสอบด้วยเทคนิคเบี่ยงเบนรูปร่างขณะปฏิบัติงาน มิติ และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจะแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการทดสอบในแต่ละวิธี

บทที่ 5 เป็นบทสรุปและข้อเสนอแนะ



## บทที่ 2

### ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 บทนำ

ปัจจุบันมีการก่อสร้างอาคารบ้านเรือนเป็นจำนวนมากมีการนำผนังชนิดต่าง ๆ มาทำการก่อสร้างไม่ว่าจะเป็นอิฐมวลเบา อิฐมอญ เป็นต้น ซึ่งในการก่อสร้างอาคารบ้านเรือนนั้นต้องเลือกชนิดของผนังให้มีความเหมาะสม เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งก่อสร้างหรือทรัพย์สิน โดยได้มีการทดสอบความแข็งแรงและความทนทานของผนังก่อนนำมาก่อสร้าง เพื่อเป็นการป้องกันความเสียหายที่อาจคาดไม่ถึง ซึ่งการทดสอบความแข็งแรงของผนังเมื่อถูกวัตถุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่กระแทก เป็นส่วนหนึ่งในการทดสอบความแข็งแรงของผนัง โดยนำไดอัลเกจ (Dial Gauge) หรือทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลงความเหนียวแบบเชิงเส้น มาใช้ในการวัดขนาดการยุบตัวของผนัง ซึ่งในการทดสอบนั้นจะทำการทดสอบจำนวนมากอาจส่งผลให้ไดอัลเกจหรือทรานสดิวเซอร์เกิดความเสียหายและส่งผลให้มีความผิดพลาดจากการวัด ซึ่งในปัจจุบันมีการนำเอาวิธีการประมวลผลภาพมาประยุกต์ใช้ในเรื่องต่าง ๆ ดังนั้นจึงได้ศึกษางานวิจัยและปรัทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบความแข็งแรงของผนัง การประมวลผลภาพเพื่อนำวิธีการประมวลผลภาพมาเปรียบเทียบกับทดสอบความแข็งแรงของผนังด้วยการใช้ทรานสดิวเซอร์และใช้เทคนิครูปร่างการเบี่ยงเบนขณะปฏิบัติงานเพื่อจำลองพฤติกรรมการสั่นของผนัง

#### 2.2 การทดสอบความแข็งแรงของผนังตามมาตรฐาน BS 5234

มาตรฐาน BS 5234 เป็นมาตรฐานการทดสอบความแข็งแรงของผนังซึ่งเป็นมาตรฐานของประเทศอังกฤษ ในการกำหนดการทดสอบเพื่อแบ่งประเภทของผนังตามความเหมาะสมของการใช้งาน โดยในการทดสอบมีหลายวิธีซึ่งจะจำลองการใช้งานจริงของระบบผนัง มีการทดสอบทั้งสิ้น 7 การทดสอบ ดังนี้

1. Partition Stiffness ความแข็งแรงของผนังในการรับแรงกดในแบบน้ำหนักกระทำเป็นจุด
2. Small Hard Body Impact ความทนทานของผนังเมื่อถูกกระแทกด้วยวัตถุแข็งขนาดเล็ก
3. Large Soft Body Impact ความทนทานของผนังเมื่อถูกกระแทกด้วยวัตถุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่



4. Door Slamming ความทนทานของผนังเมื่อทำการเปิด-ปิด ประตูซ้ำ ๆ
5. Crowd Pressure ทดสอบการรับแรงของผนังในแบบกระจายแรง
6. Light Weight Anchorage ทดสอบการรับแรงด้วยการแขวนวัสดุ
7. Heavy Weight Anchorage ทดสอบการรับแรงของชั้นวางของ

โดยในการทดสอบที่ 1-4 จะแบ่งเกรดผนังเอาไว้ในแต่ละการทดสอบ เมื่อทดสอบครบทั้ง 4 การทดสอบจะนำผลทั้งหมดมาประเมินเกรดของระบบผนังนั้น ๆ ส่วนการทดสอบที่ 5-6 จะเป็นการทดสอบ เพื่อให้รู้ถึงสมรรถภาพของระบบผนังเท่านั้น ซึ่งในการแบ่งเกรดผนังตามมาตรฐาน BS 5234 ได้ทำการแบ่งผนังต่าง ๆ ออกเป็น 4 ประเภท ตามลักษณะการใช้งาน ดังตารางที่ 2.1

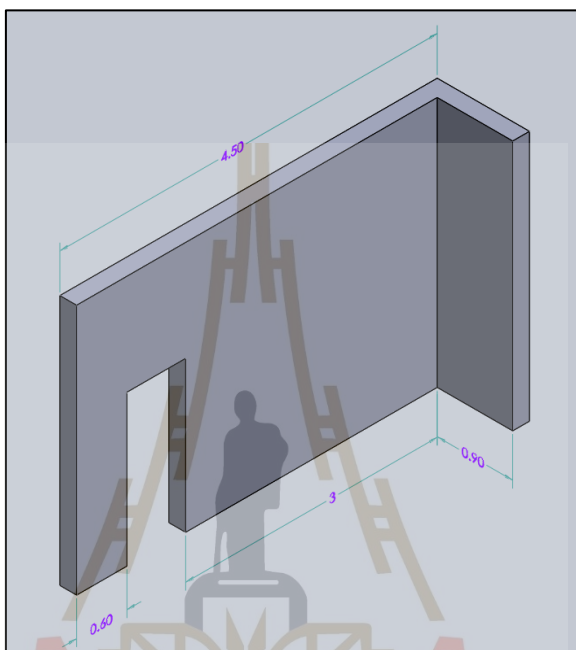
ตารางที่ 2.1 การแบ่งประเภทของผนัง

เกรด (Grade)	ลักษณะผนัง	พื้นที่ใช้งาน
ระดับการใช้งานเบา	ใช้พื้นที่ที่มีการใช้งานอย่างเบามีคนอยู่น้อย โดยที่ผนังมีการดูแลอย่างดี มีการกระทบกระต้งน้อย	ที่พักอาศัย ตึกแถว หอพัก หรือห้องพักริเวณ
ระดับการใช้งานปานกลาง	ใช้พื้นที่ที่มีการใช้งานปานกลาง มีการกระทบกระต้งบ้าง แต่ยังมีดูแลดี	สำนักงาน ธนาคาร หรืออาคารพาณิชย์
ระดับการใช้งานหนัก	ใช้พื้นที่ที่มีการใช้งานสาธารณะจากบุคคลต่าง ๆ ซึ่งมีการดูแลน้อย มีการใช้งานหนักพอสมควร	โรงงานอุตสาหกรรม ห้องโถงช่องทางเดิน หรือหอประชุม
ระดับการใช้งานสูงมาก	ใช้พื้นที่ที่มีการใช้งานแบบรุนแรงและไม่ปกติบ่อย ๆ จากบุคคลจำนวนมาก	โรงงานอุตสาหกรรมหนัก โรงกีฬา หรือที่จอดรถ

#### การทดสอบ

ในการทดสอบตามมาตรฐาน BS 5234 จะต้องทำการติดตั้งผนังที่ทำการทดสอบตามข้อกำหนด ของมาตรฐาน ดังนี้

- ผนังที่ทำการทดสอบต้องยาวอย่างน้อย 4.5 เมตร และมีมุมผนังยื่นออกมาอย่างน้อย 0.9 เมตร ดังรูปที่ 2.1
- ในผนังต้องมีวงกบ ประตูและบานประตูประกอบอยู่ด้วย โดยมีขนาดตามข้อกำหนด
- ผนังทดสอบที่ได้สร้างขึ้นนั้นจะต้องประกอบขึ้นในโครงสร้างที่มีความแข็งแรง



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างผนังทดสอบ

### 2.3 การทดสอบความแข็งแรงของผนังเมื่อถูกวัสดุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่กระแทก

การทดสอบความแข็งแรงของผนังเมื่อถูกวัสดุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่กระแทกเป็นการทดสอบความแข็งแรงของผนัง ในการต้านทานต่อความเสียหายที่เกิดจากการกระแทกด้วยการใช้วัสดุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่ ซึ่งเปรียบได้กับการที่ผู้อยู่อาศัยมีการกระแทกเข้ากับผนังในการใช้งานจริง โดยในการทดสอบผนังจะถูกกระแทกจากถุงทรายน้ำหนัก 50 กิโลกรัม ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งแบ่งการทดสอบทั้งหมดออกเป็น 2 การทดสอบย่อย คือ

#### 2.3.1 การทดสอบความต้านทานต่อการเสียหาย

การทดสอบความต้านทานต่อการเสียหาย (Resistance to Damage) เป็นการทดสอบโดยการปล่อยวัสดุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่กระแทกผนังด้วยพลังงานต่ำ ซึ่งจะทำให้การกระแทกผนังเพียง 1 ครั้ง โดยผนังต้องไม่เกิดการเปลี่ยนรูปแบบถาวร (Permanent Deformation) เกิน 2 มิลลิเมตร หรือเกิดความเสียหายใด ๆ ขึ้น โดยที่มีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

- เลือกจุดที่กระแทก 2 จุด ในช่วงความสูง 1.20-1.75 เมตร จากพื้นแสดงดังรูปที่ 2.2
- ยกถุงขึ้นตามความสูงของพลังงานกระแทกที่จะทดสอบ
- ปล่อยถุงทรายให้ลงมากระแทกเพียง 1 ครั้ง
- ปล่อยให้ผนังคืนตัวเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นวัดค่าความเปลี่ยนรูปแบบถาวรของผนัง
- ทดสอบจุดที่ 2 ด้วยการทดสอบแบบเดียวกัน

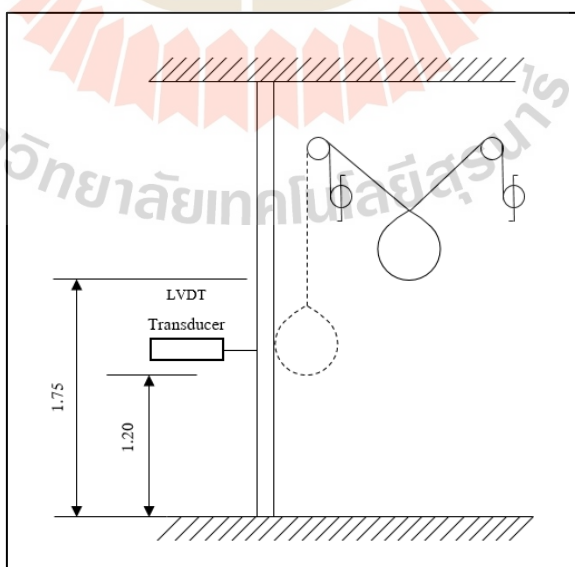
### 2.3.2 การทดสอบความเสียหายของโครงสร้าง

การทดสอบความเสียหายของโครงสร้าง (Structural Damage) เป็นการทดสอบโดยการปล่อยวัสดุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่กระแทกผนังด้วยพลังงานสูง ซึ่งจะทำการกระแทกผนังในจุดเดิม 3 ครั้ง โดยผนังต้องไม่เกิดการพังทลายลงมา

- เลือกจุดที่กระแทกบนผนังจำนวน 2 จุด ในช่วงความสูง 1.20-1.75 เมตร จากพื้น
- ยกถุงขึ้นตามความสูงของพลังงานกระแทกที่ทดสอบ
- ปล่อยถุงให้ลงมากระแทก 3 ครั้ง
- ตรวจสอบและบันทึกความเสียหายที่เกิดขึ้น
- ทำการทดสอบจุดที่ 2 ด้วยการทดสอบแบบเดียวกัน

#### ผลการทดสอบ

เมื่อทำการทดสอบเสร็จแล้ว จึงนำผลที่ได้จากการทดสอบมาเปรียบเทียบกับค่าที่กำหนดเอาไว้ในแต่ละเกรดของผนัง ดังตารางที่ 2.2 และตารางที่ 2.3



รูปที่ 2.2 การทดสอบความแข็งแรงของผนังเมื่อถูกกระแทกโดยวัสดุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่

ตารางที่ 2.2 การทดสอบของผนังแต่ละเกรด

เกรด	ทดสอบ Resistance to Damage			ทดสอบ Structural Damage		
	(ทดสอบ 2 จุด กระแทกจุดละ 1 ครั้ง)			(ทดสอบ 2 จุด กระแทกจุดละ 3 ครั้ง)		
	Impact	Drop	Criteria for	Impact	Drop	Criteria for
	Energy	Height	acceptance	Energy	Height	acceptance
ระดับการใช้งานเบา	20 N.m	41 mm	ผนังไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง	60 N.m	122 mm	ผนังไม่พังทลาย
ระดับการใช้งานปานกลาง	20 N.m	41 mm	รูปแบบถาวรเกิน 2 mm หรือ	60 N.m	122 mm	
ระดับการใช้งานหนัก	40 N.m	82 mm	เกิดความเสียหาย	120 N.m	245 mm	
ระดับการใช้งานสูงมาก	100 N.m	204 mm		120 N.m	245 mm	

ตารางที่ 2.3 ค่ามาตรฐานการยุบตัวของผนังแต่ละเกรด

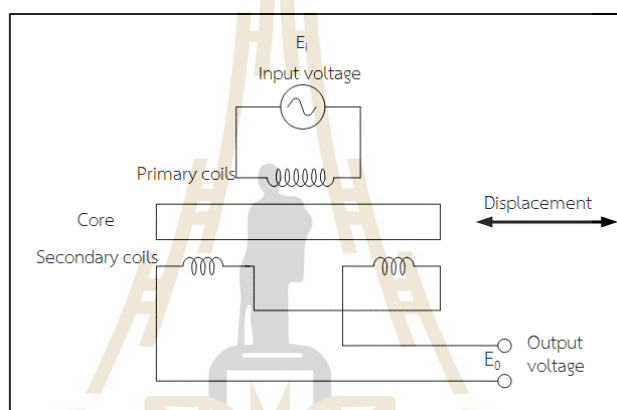
Grade	Maximum Deflection (mm)	Maximum Residual Deformation (mm)	Other Damage
Light Duty	25	5	No damage or detachment of partition's part of fixing, other than superficial cracking of surface
Medium Duty	20	3	
Heavy Duty	15	2	
Severe Duty	10	1	

## 2.4 ทรานสดิวเซอร์

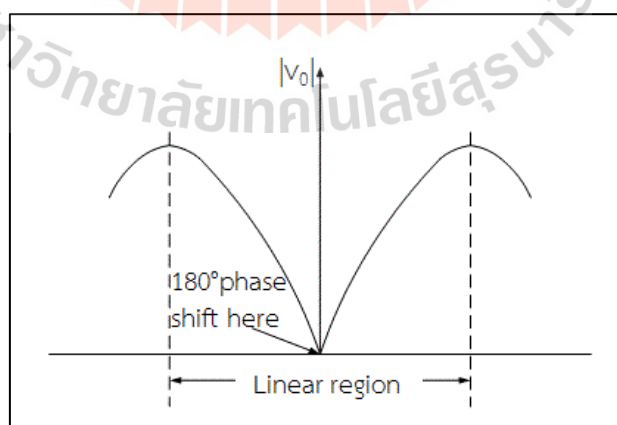
ทรานสดิวเซอร์เป็นอุปกรณ์สำหรับแปลงพลังงานจากรูปแบบหนึ่งไปเป็นอีกรูปแบบหนึ่งในทางอิเล็กทรอนิกส์คือ อุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนปริมาณทางฟิสิกส์ เช่น ความเร่ง (Acceleration), ระยะทาง (Displacement), เสียง (Sound), ความร้อน (Heat) หรือน้ำหนัก (Weight) ไปเป็นพลังงานไฟฟ้า (สัญญาณไฟฟ้า) เพื่อนำไปประมวลผลในวงจรอิเล็กทรอนิกส์

ทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลงความเหนียวแบบเชิงเส้น เป็นทรานสดิวเซอร์สำหรับวัดระยะทาง (ส่วนมากเป็นระยะทางสั้น ๆ) เช่น การนำไปใช้วัดการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งมิเตอร์

วัดความเร่ง ซึ่งจะมีลักษณะ โครงสร้างของทรานสดิวเซอร์และการต่อวงจรภายในทรานสดิวเซอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 โดยทรานสดิวเซอร์ประกอบด้วยหม้อแปลง 3 ขด ได้แก่ ขดปฐมภูมิ 1 ขด ขดทุติยภูมิ 2 ขด และมีแกนที่สามารถเคลื่อนที่ได้อีก 1 ตัว ขดทุติยภูมิทั้งสองจะมีทิศทางการพันตรงข้ามกันจึงทำให้มีเฟสตรงกันข้าม จากรูปด้านล่างหากแกนอยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางแรงดันที่ขดทุติยภูมิทั้งสองจะเท่ากัน แต่จะมีเฟสตรงข้ามแรงดันรวมจะมีค่าเท่ากับศูนย์ เมื่อแกนมีการเคลื่อนที่ที่แรงดันที่ขดทุติยภูมิขดหนึ่งจะเพิ่มขึ้นในขณะที่อีกขดหนึ่งจะลดลงดังรูปที่ 2.4 ดังนั้น แรงดันรวมขดทุติยภูมิเกิดมีค่าขึ้นมา โดยเป็นบวกหรือลบขึ้นอยู่กับทิศทางการเคลื่อนที่ของแกน ส่วนขนาดของแรงดันจะขึ้นอยู่กับระยะทางที่แกนเคลื่อนที่ไป



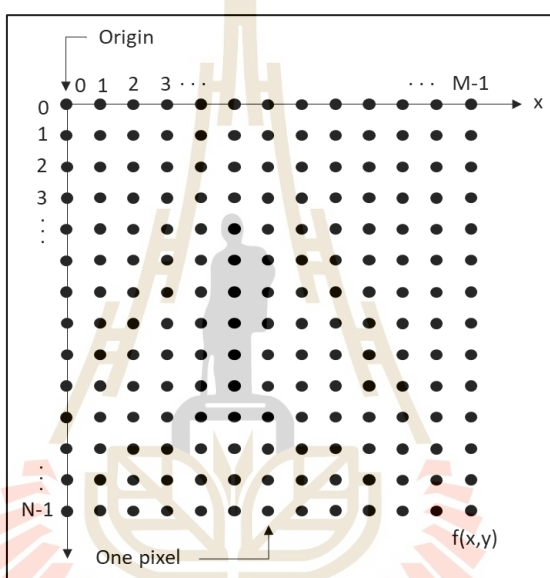
รูปที่ 2.3 ลักษณะ โครงสร้างและการต่อวงจร (นวกัฑรา และคณะ, 2555)



รูปที่ 2.4 ค่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตของทรานสดิวเซอร์โดยแกนเคลื่อนที่อยู่ในตำแหน่งใด ๆ (นวกัฑรา และคณะ, 2555)

## 2.5 ภาพและความหมายของพิกเซล

พิกเซล คือ ความเข้มแสงที่รวมกันทำให้เกิดเป็นภาพหนึ่ง ๆ ซึ่งจะประกอบด้วยพิกเซลมากมาย ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งภาพในแต่ละภาพที่สร้างขึ้นจะมีความหนาแน่นของพิกเซลเหล่านี้แตกต่างกันออกไป ความหนาแน่นนี้จะเป็นตัวบอกถึงความละเอียด (Resolution) ของภาพ ซึ่งมีหน่วยเป็น PPI (Pixel per Inch) คือ จำนวนพิกเซลต่อนิ้ว ซึ่งโดยทั่วไปถือว่าภาพที่มีความละเอียดสูงหรือคุณภาพดีจะมีความละเอียด  $300 \times 300$  PPI ขึ้นไป ยิ่งค่า PPI มีค่าสูงขึ้นก็จะส่งผลให้ภาพมีความละเอียดและคมชัดมากขึ้น



รูปที่ 2.5 ตำแหน่งของพิกเซล

โดยที่  $N$  คือ จำนวนพิกเซลที่มากที่สุดในการแกน  $Y$   
 $M$  คือ จำนวนพิกเซลที่มากที่สุดในการแกน  $X$

## 2.6 แบบจำลองสี

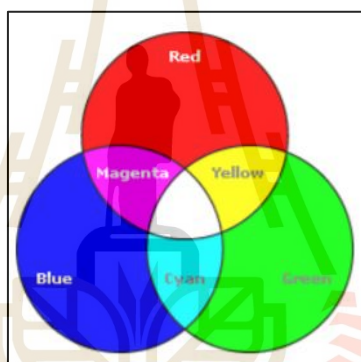
แบบจำลองสีเป็นสิ่งที่ใช้อ้างอิงถึงสีต่าง ๆ สำหรับคอมพิวเตอร์ โดยไม่ใช่แบบจำลองที่เป็นแบบจำลองเชิงวิเคราะห์ (Analytical Model) เหมือนกับที่ใช้ในทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งอยู่ในรูปของพลังงานช่วงของสเปกตรัม แต่จะเป็นแบบจำลองเชิงประจักษ์ (Empirical Model) ที่ได้รับสัมพันธของค่าที่ใช้อ้างอิงกับสีใด ๆ จากการทดลองที่เป็นการศึกษาแบบจิตวิทยา (Psychophysical) ที่มีการรับรู้ของมนุษย์เข้ามาเกี่ยวข้อง



แบบจำลองสีมีหลายแบบด้วยกัน เช่น แบบจำลองสี RGB, แบบจำลองสี CMY, แบบจำลองสี CMYK, แบบจำลองสี HSV, แบบจำลองสี HIS, แบบจำลองสี HLS, แบบจำลองสี YIQ, แบบจำลองสี และ YUV และแบบจำลอง YcbCR เป็นต้น

### 2.6.1 แบบจำลองสี RGB

แบบจำลองสี RGB (RGB Color Model) เป็นแบบจำลองที่เฉพาะเจาะจงกับจอภาพคอมพิวเตอร์ เนื่องจากแบบจำลองสี RGB จะทำการสร้างสีต่าง ๆ ขึ้นโดยการใช้แหล่งกำเนิดแสงจำนวนสามสีหรือแม่สี ได้แก่ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) ที่เกิดจากการเรียงแสงที่มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ตามลำดับ ซึ่งแสงทั้งสามสีนั้นจะมีค่าไม่เท่ากันในแต่ละอุปกรณ์ นอกเสียจากว่ามีคุณสมบัติของสารเรืองแสงและการตั้งค่าจอภาพ และสภาพแวดล้อมที่จอภาพคอมพิวเตอร์เหมือนกันทุกประการ ซึ่งโดยปกติแล้วจะมีค่าที่แตกต่างกันออกไปดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แบบจำลองสี RGB

แบบจำลองสี RGB ประกอบด้วยข้อมูลจำนวนสามส่วน ได้แก่ ค่าความเข้ม (Intensity) ของสีทั้งสาม ซึ่งได้แก่ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน

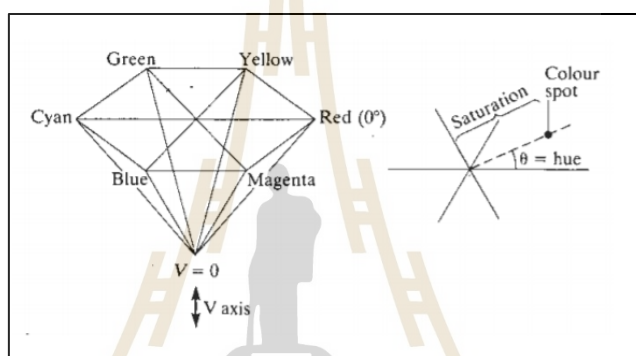
### 2.6.2 แบบจำลองสี HSV

แบบจำลองสี HSV (HSV Color Model) เป็นแบบจำลองสีที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อเป็นทางเลือกโดยแบบจำลองสี HSV แสดงในรูปที่ 2.7 จะให้ความหมายที่ลึกกว่าเมื่อกล่าวถึงสีต่าง ๆ ในเชิงศิลปะ เช่น เมื่อพูดถึงสีเหลืองในทางศิลปะจะมีความแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาสีเหลืองอ่อน สีเหลืองแก่หรือสีน้ำตาลว่ามีความแตกต่างกันอย่างไรจะพบว่าทุกสีคือสีเหลืองนั่นเอง ที่มีระดับความเข้มหรือมีความอิ่มตัวที่แตกต่างกัน ดังนั้นสีในแบบจำลองสี HSV จะให้ความรู้สึกที่เข้าใจได้มากกว่าสำหรับมนุษย์ซึ่งจำลองสี HSV ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

H หมายถึง Hue หรือสีที่มีค่าที่แตกต่างออกไปตามความถี่ของแสง เช่น แดง เหลือง เขียว น้ำเงิน หรือ ม่วง เป็นต้น

S หมายถึง Saturation หรือความอิ่มตัวของสีนั้น ๆ เช่น สีแดง และสีชมพูคือ สีแดง เพียงแต่สีชมพูมีความอิ่มตัวน้อยกว่ารูปที่ 2.7

แบบจำลองสี HSVV หมายถึง ค่าความสว่างของสี โดยที่ค่าความสว่างต่ำสุด หมายถึง สีดำ ไม่ว่าจะมียสี หรือ ความอิ่มตัวของสีเท่าใด และค่าความสว่างสูงสุดหมายถึง สีขาว ซึ่งเป็นสีที่สว่างที่สุดของสี และความอิ่มตัวของสีนั้น ๆ เช่นสีใด ๆ มีค่าความอิ่มตัว มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อค่าความสว่างสูงที่สุดคือสีเหลืองและค่าความสว่างต่ำสุดคือสีดำ



รูปที่ 2.7 แบบจำลองสี HSV

## 2.7 การแยกลักษณะเฉพาะของภาพ

การแยกลักษณะเฉพาะของภาพ (Image Feature Extraction) คือ การแยกหรือสกัดเอาข้อมูลที่สำคัญของภาพออกมา ซึ่งลักษณะเฉพาะของภาพเป็นคุณสมบัติที่สามารถหาได้โดยใช้ขั้นตอนวิธีการประมวลผลภาพ โดยที่ลักษณะเฉพาะพื้นฐานของภาพประกอบด้วย 3 ส่วน คือ สี รูปร่าง และพื้นผิว

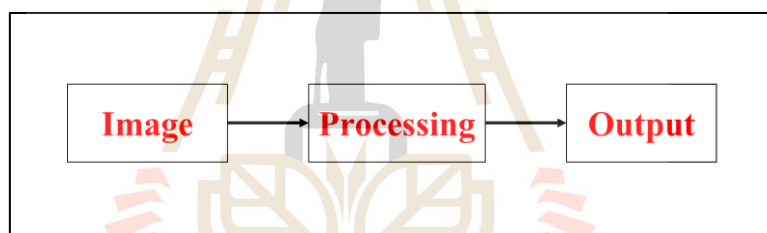
1. สี (Color) เป็นลักษณะเฉพาะของภาพที่มีบทบาทสำคัญในระบบค้นคืนภาพ เช่น อีเสโตแกรมสี ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของสีที่ถูกนำมาใช้บ่อย ๆ เนื่องจากสีเป็นสิ่งที่สามารถมองเห็นได้ง่ายและเป็นสิ่งแรกที่สามารถสังเกตเห็นได้จากการมองภาพ นอกจากนี้สียังสามารถใช้ในการแยกแยะ กลุ่มของภาพออกตามเนื้อหาได้เป็นอย่างดีเช่นสีฟ้าของน้ำทะเล สีแดงของดอกไม้ สีเขียวของต้นไม้ เป็นต้น

2. รูปร่าง (Shape) เป็นลักษณะเฉพาะของภาพที่ใช้อธิบายถึงรูปร่างและลักษณะ รวมถึงขนาดของวัตถุภายในภาพ ซึ่งทำให้สามารถแยกวัตถุออกจากพื้นหลังหรือแยกแยะระหว่างวัตถุที่มีรูปร่างแตกต่างกันออกจากกันได้

3. พื้นผิว (Texture) เป็นลักษณะเฉพาะที่ใช้อธิบายความหยาบความละเอียดหรือความซับซ้อนของวัตถุภายในภาพ ซึ่งแต่ละภาพอาจจะประกอบด้วยวัตถุที่มีลักษณะพื้นผิวที่แตกต่างกันออกไปการวิเคราะห์พื้นผิวจะช่วยให้สามารถแยกแยะความแตกต่างของวัตถุได้ดียิ่งขึ้น การค้นคืนภาพที่ใช้พื้นผิวเป็นลักษณะเฉพาะของภาพส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ในการค้นหาภาพจากกลุ่มภาพพื้นผิว เช่น ชุดภาพพื้นผิวของหิน ชุดภาพพื้นผิวของใบไม้ เป็นต้น

## 2.8 การประมวลผลภาพ

การประมวลผลภาพ หมายถึง การนำภาพมาประมวลผลหรือคิดคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เราต้องการทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ ดังรูปที่ 2.8

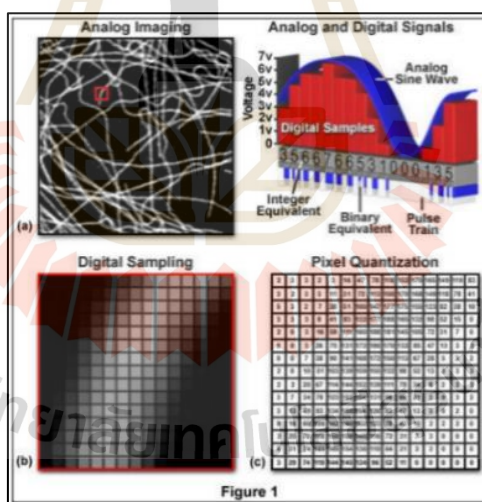


รูปที่ 2.8 ขั้นตอนการประมวลผลภาพ

โดยมีขั้นตอนต่าง ๆ ที่สำคัญ คือ การทำให้ภาพมีความคมชัดมากขึ้นด้วยการกำจัดสัญญาณรบกวนต่างๆออกจากภาพ โดยทำการแบ่งส่วนของวัตถุที่เราสนใจออกมาจากภาพเพื่อนำภาพวัตถุที่ได้ไปวิเคราะห์หาข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น ขนาด รูปร่าง และทิศทางการเคลื่อนของวัตถุในภาพ จากนั้นจึงสามารถนำข้อมูลเชิงปริมาณเหล่านั้นไปวิเคราะห์ และสร้างระบบเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น ระบบรู้จำลายนิ้วมือ เพื่อตรวจสอบว่าภาพลายนิ้วมือที่มีอยู่นั้นเป็นของผู้ใด ระบบตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม ระบบคัดแยกเกรดหรือคุณภาพของพืชผลทางการเกษตร ระบบอ่านรหัสไปรษณีย์อัตโนมัติ เพื่อคัดแยกปลายทางของจดหมายที่มีจำนวนมากในแต่ละวัน โดยใช้ภาพถ่ายของรหัสไปรษณีย์ที่อยู่บนซอง ระบบเก็บข้อมูลรถที่เข้าและออกอาคาร โดยใช้ภาพถ่ายของป้ายทะเบียนรถเพื่อประโยชน์ในด้านความปลอดภัย ระบบดูแลและตรวจสอบสภาพการจราจรบนท้องถนน โดยการนับจำนวนรถ

บนท้องถนนในภาพถ่ายด้วยกล้องวงจรปิดในแต่ละช่วงเวลา ระบบรู้จำใบหน้าเพื่อเฝ้าระวังผู้ก่อการร้ายในอาคารสถานที่สำคัญ ๆ หรือในเขตคนเข้าเมือง เป็นต้น จะเห็นได้ว่าระบบเหล่านี้จำเป็นต้องมีการประมวลผลภาพจำนวนมาก และเป็นกระบวนการที่ต้องทำซ้ำ ๆ กันในรูปแบบเดิมเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งงานในลักษณะเหล่านี้หากให้มนุษย์วิเคราะห์เองมักต้องใช้เวลามากและใช้แรงงานสูง อีกทั้งหากจำเป็นต้องวิเคราะห์ภาพเป็นจำนวนมาก ผู้วิเคราะห์ภาพเองอาจเกิดอาการล้าส่งผลให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้ ดังนั้นคอมพิวเตอร์จึงมีบทบาทสำคัญในการทำหน้าที่เหล่านี้แทนมนุษย์ อีกทั้งเป็นที่ทราบโดยทั่วกันว่าคอมพิวเตอร์มีความสามารถในการคำนวณและประมวลผลข้อมูลจำนวนมากได้ในเวลาอันสั้น จึงมีประโยชน์อย่างมากในการเพิ่มประสิทธิภาพการประมวลผลภาพและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากภาพในระบบต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น

การประมวลผลภาพดิจิทัล คือ การนำภาพที่มีอยู่แล้ว ภาพที่รับเข้ามาจากอุปกรณ์ต่าง ๆ หรือเป็นภาพที่มีอยู่มาประมวลผล เพื่อหาลักษณะเด่นบางประการของภาพที่มีอยู่หรืออาจจะเป็นการตีความหมายของภาพ รวมถึงการปรับคุณลักษณะของภาพให้เป็นไปตามต้องการ โดยใช้กระบวนการทางคณิตศาสตร์ ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การแปลงภาพอนาล็อกให้เป็นภาพดิจิทัล (ที่มา: [www.hamamatsu.com](http://www.hamamatsu.com))

วิธีประมวลผลภาพ ถือเป็นวิชาที่เพิ่งเกิดขึ้นใหม่เนื่องจากมันเริ่มเกิดขึ้นมาเมื่อคอมพิวเตอร์มีความสามารถสูงขึ้น จึงมีแนวคิดที่จะนำคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการประมวลผลสัญญาณมาทำการประยุกต์ใช้กับสัญญาณภาพขึ้น โดยภาพส่วนใหญ่จะเก็บอยู่ในรูปแบบของอาร์เรย์ โดยกลุ่มของอาร์เรย์กลุ่มหนึ่งจะเป็นค่าของภาพหนึ่งพิกเซล เช่น ภาพแบบ RGB ใช้อาร์เรย์ 3 ช่อง เพื่อเก็บค่าสีของ RGB ในหนึ่งพิกเซล ดังนั้นโดยส่วนมากภาพแบบ RAW ที่ไม่ผ่านการบีบอัดใด ๆ จะใช้

พื้นที่เก็บข้อมูล ความกว้าง  $\times$  ความสูง  $\times$  ซาแนล ซึ่งจะกินหน่วยความจำมากจึงมีการคิดค้นการบีบอัดข้อมูลภาพเพื่อลดขนาดของภาพลง ซึ่งจะแบ่งอัลกอริทึมในการบีบอัดภาพออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

1. อัลกอริทึมแบบไม่สูญเสีย (Lossless Algorithm) คือ วิธีการที่บีบอัดภาพโดยไม่ยอมสูญเสียคุณภาพของภาพไป เช่น การเข้ารหัสความยาวรัน (Run Length) หรือ การเข้ารหัสฮัฟฟ์แมน (Huffman) เป็นต้น

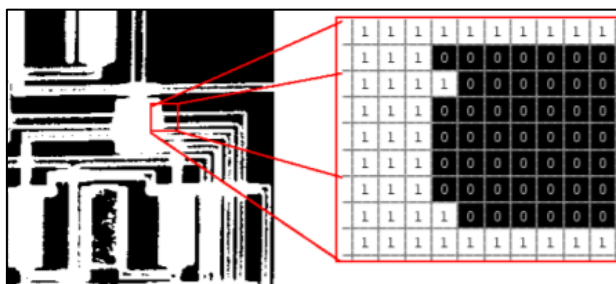
2. อัลกอริทึมแบบการสูญเสีย (Lossy Algorithm) วิธีนี้คือ วิธีที่ยอมเสียคุณภาพของภาพไปบ้าง เพื่อลดขนาดลงโดยปกติวิธีนี้จะให้ไฟล์ภาพที่เล็กกว่าวิธีที่ 1 แต่จะมีการสูญเสียคุณภาพของภาพไปบ้าง

ภาพดิจิทัลที่ได้จะมีรูปแบบการเก็บเป็นเมทริกซ์ ซึ่งจะมีการจัดเก็บภาพแต่ละชนิดต่างกันขึ้นอยู่กับระบบสีของภาพดังกล่าว โดยแบ่งชนิดของภาพได้ดังนี้

### 2.8.1 ภาพไบนารี

ภาพไบนารี (Binary Image) คือ ภาพซึ่งในแต่ละพิกเซลจะมีความเข้มของแสงได้สองแบบเท่านั้นคือ สว่างกับมืด โดยอาจเขียนแทนได้ด้วยเลข 0 และ 1 ด้วยความเข้มของแสงเพียง 2 ระดับ ภาพจึงทำให้ภาพไบนารีมีข้อจำกัดที่จะนำมาใช้แสดงภาพทั่ว ๆ ไป แต่อย่างไรก็ตามการมีความเข้มแสงเพียงสองระดับก็ทำให้การประมวลผลทำได้ง่ายมีประสิทธิภาพการประมวลผลภาพไบนารีถูกนำไปใช้อย่างมากในการประมวลผลเอกสาร การประมวลผลภาพในอุตสาหกรรมที่ต้องการความเร็วสูง เช่น การนับชิ้นส่วนที่อยู่บนสายพานที่กำลังเคลื่อนที่ต่อเนื่อง เป็นต้น การมีความเข้มเพียงสองระดับในภาพไบนารีทำให้สามารถที่จะเลือกพิจารณาความเข้มระดับหนึ่งแทนภาพของสิ่งที่เราสนใจ โดยเราจะขอเรียกพิกเซลที่มีความเข้มระดับนี้ว่า พิกเซลภาพและความเข้มอีกระดับแทนพื้นหลัง โดยพิกเซลที่มีความเข้มระดับนี้จะถูกเรียกว่า “พิกเซลพื้นหลัง” ในทางปฏิบัติการพิจารณาภาพไบนารีเราจะไม่สนใจแต่ละพิกเซลแยกกันไป แต่เราจะสนใจของพิกเซลที่อยู่ติดกันหรือเรียกว่าพิกเซลเพื่อนบ้าน

การสร้างภาพไบนารีนั้นสามารถทำได้โดยการใช้เทคนิคการทำเทรชโฮล (Thresholding Technique) โดยพิจารณาว่าพิกเซลใดเป็นสีขาวหรือสีดำจะกระทำโดยเปรียบเทียบระหว่างพิกเซลของภาพเริ่มต้นกับค่าคงที่ค่าหนึ่งเรียกว่า “ค่าเทรชโฮล (Threshold Value)” ข้อมูลภาพมีลักษณะที่ต่างกันระหว่างวัตถุและพื้นหลัง โดยค่าของพิกเซลของภาพใด ๆ ที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าเทรชโฮลจะถูกเปลี่ยนเป็น 0 (จุดดำ) ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ภาพแบบไบนารีหรือภาพขาว-ดำ (ที่มา: [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com))

ในการสร้างภาพไบนารีโดยใช้เทคนิคเทรชโฮลเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมและคมชัด สิ่งที่สำคัญที่สุดคือ ค่าเทรชโฮล เนื่องจากถ้าเลือกค่าเทรชโฮลที่ไม่เหมาะสม (ค่าเทรชโฮลที่มีค่าน้อยเกินไปหรือมากเกินไป) รูปที่ได้อาจจะมีดเกินไปหรือสว่างมากเกินไปหรือรูปที่ได้มีสิ่งรบกวน (Noise) เกิดขึ้นอันเป็นผลทำให้รูปที่ได้ไม่สวยงามเท่าที่ควร ดังนั้นปัญหาของการสร้างภาพไบนารีคือ วิธีการกำหนดค่าเทรชโฮลที่เหมาะสมสำหรับแต่ละรูปที่จะนำมาทำการสร้างภาพไบนารี ซึ่งมีวิธีการคำนวณค่าเทรชโฮลหลายวิธี โดยแต่ละวิธีเหมาะสมกับลักษณะการทำงานที่แตกต่างกันไป เช่น การหาค่าเทรชโฮลโดยกำหนดค่าล่วงหน้า (Pre-Assigned Threshold Value) การหาค่าเทรชโฮลจากค่ากลาง (Mid-Range Threshold Value) ซึ่งแต่ละวิธีอธิบายได้ดังนี้

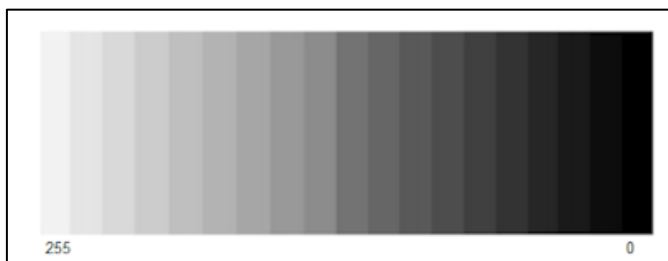
1) การหาค่าเทรชโฮลโดยการกำหนดค่าล่วงหน้าเป็นการกำหนดค่าเทรชโฮลโดยการกำหนดเองจากผู้ใช้ ซึ่งการกำหนดนี้จะขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ใช้คนนั้น ๆ โดยการเลือกค่าคงที่ค่าหนึ่งซึ่งเรียกว่าค่าเทรชโฮล โดยค่าที่เลือกมานี้จะเป็นค่าที่อยู่ระหว่างค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของระดับความเข้มแสงของภาพ เช่น ภาพอินพุทมีระดับความเข้มแสง 256 ระดับ จะมีค่าได้ตั้งแต่ 0-255 เมื่อเลือกค่าเทรชโฮลได้แล้วสามารถสร้างภาพไบนารีได้

2) การหาค่าเทรชโฮลจากค่ากลางเป็นการหาเทรชโฮลที่แตกต่างจากการหาค่าเทรชโฮลวิธีแรก สำหรับวิธีนี้จะเป็นการคำนวณหาค่าเทรชโฮลโดยอัตโนมัติโดยไม่ต้องให้ผู้ใช้เป็นผู้กำหนดโดยการหาค่าเทรชโฮลนี้ใช้วิธีทางสถิติในเรื่องการหาค่ากลางหรือค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าเทรชโฮลที่ความเข้มต่ำสุด (Minimum Level) ของภาพ เมื่อทำการคำนวณค่าเทรชโฮลได้แล้วก็สามารถสร้างภาพไบนารีได้โดยนำค่าเทรชโฮลที่ได้มาใช้

### 2.8.2 ภาพระดับสีเทา

ภาพระดับสีเทา (Grayscale Image) จะมีจุดภาพหรือค่าความเข้มของสีในตำแหน่งตำแหน่งแตกต่างกันออกภาพขึ้นอยู่กับภาพนั้น ๆ ซึ่งค่าของภาพระดับสีเทาทั้งหมดจะขึ้นอยู่กับจำนวนบิตที่ใช้ โดยจะนิยมนิยมนระดับของภาพสีในช่วง 0-1 หรือ 0-255 ดังแสดงดังรูปที่ 2.11





รูปที่ 2.11 ภาพแสดงระดับสีเทา (ที่มา: www.blogspot.com)

ภาพระดับสีเทามักจะมีการไล่ระดับความอ่อนแก่ของสีซึ่งจะอยู่ระหว่างสีขาวกับสีดำ (Halftone Image) อย่างต่อเนื่อง โดยสีแต่ละสีจะมีค่าพิกเซลที่แตกต่างกัน ซึ่งพิกเซลของภาพจะหมายความเข้มแสงของภาพในแต่ละตำแหน่ง

### 2.8.3 ภาพสี

ภาพสี (RGB Image) เป็นภาพแบบ 3 ชาแนล โดยภาพจะเก็บอยู่ในรูปภาพโดยเรียงตามลำดับ BGR แต่ถ้าหากอยู่ในไฟล์ภาพจะเรียงตามปกติ คือ RGB โดยในภาพ โดยจะใช้พื้นที่ในการเก็บภาพเป็นขนาด  $m \times n \times 3$  กล่าวคือ จะต้องใช้พื้นที่เก็บทั้ง 3 ชาแนล ซึ่งจะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ภาพแบบ RGB (ที่มา: www.mathworks.com)



## 2.9 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา

ภาพที่นำเข้ามาเพื่อแปลงเป็นภาพระดับสีเทานั้นจะเป็นภาพสี ซึ่งในแต่ละพิกเซลของภาพสีจะบ่งบอกถึงค่าของสีแดง ค่าของสีเขียว และค่าของสีน้ำเงิน โดยในการแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา ดังรูปที่ 2.13 จะช่วยให้สามารถวิเคราะห์ภาพได้ง่ายขึ้น เนื่องจากการที่แปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทานั้นจะทำให้ค่าความเข้มของสีในแต่ละพิกเซลจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0-255



รูปที่ 2.13 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา (ที่มา: [www.worldwidewebhosting.com](http://www.worldwidewebhosting.com))

ซึ่งในการเปลี่ยนภาพระดับสีเป็นภาพระดับสีเทาจะใช้สมการดังสมการที่ 2.1

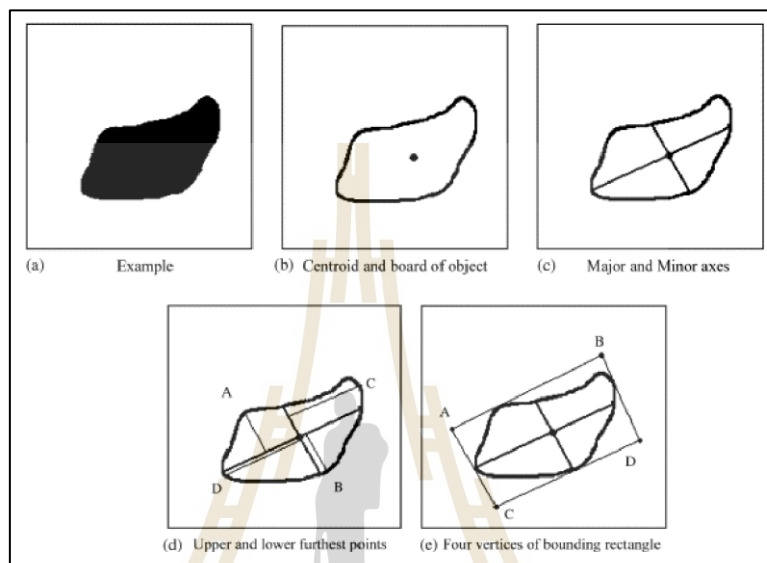
$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (2.1)$$

โดยที่ Y คือ ค่าระดับสีเทาในพิกเซลที่ต้องการหา  
 R คือ ค่าสีแดงในพิกเซลที่ต้องการหา  
 G คือ ค่าสีเขียวในพิกเซลที่ต้องการหา  
 B คือ ค่าสีน้ำเงินในพิกเซลที่ต้องการหา

## 2.10 สี่เหลี่ยมในการปิดล้อมวัตถุ

สี่เหลี่ยมในการปิดล้อมวัตถุ (Boundary Box) คือ กล่องสี่เหลี่ยมสำหรับปิดล้อมรอบบริเวณนั้น ๆ หรือบริเวณที่ถูกกำหนดหมายเลข ซึ่งกล่องสี่เหลี่ยมนี้จะช่วยในการคำนวณจุดศูนย์กลางพื้นที่ ความยาวแกนเอก-แกนโท จุดพิกัด ๆ ของบริเวณหรือวัตถุในภาพที่สนใจ ซึ่งแสดงแนวความคิดการสร้างกรอบภาพ โดยรูปที่ 2.14 (a) คือ ภาพวัตถุสีขาว-ดำ ส่วนในรูปที่ 2.14 (b) คือ ขอบและจุดศูนย์กลาง (Centroid) ของวัตถุ ต่อจากนั้นจะมีการหาแกนเอกและแกนโทของวัตถุ ดังรูปที่ 2.14 (c) จากนั้นจะมีการหาจุดที่มีระยะห่างจากจุดศูนย์กลางวัตถุถึงขอบวัตถุที่ยาวที่สุด โดยพิจารณาจาก

ส่วนด้านบนของแกนเอกและส่วนล่างของแกนเอก (A และ B) รวมทั้งการหาจุดที่มีระยะห่างจากจุดศูนย์กลางวัตถุถึงขอบวัตถุที่ยาวที่สุด โดยพิจารณาจากบริเวณส่วนซ้ายของแกนโทและส่วนขวาของแกนโท (C และ D) สุดท้ายก็จะได้จุดพิคัดในการสร้างกล่องสี่เหลี่ยมในการปิดล้อมวัตถุ (Minimum Bounding Box) นั้น



รูปที่ 2.14 แนวความคิดการสร้างสี่เหลี่ยมในการปิดล้อมวัตถุ (ที่มา: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org))

## 2.11 การหาขอบภาพ

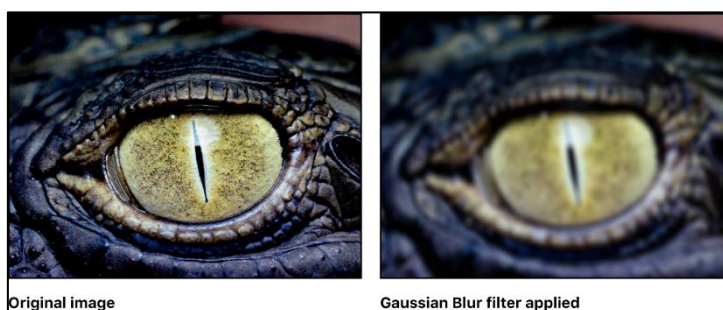
การหาขอบภาพ (Edge Detection) เป็นการหาเส้นรอบวัตถุที่อยู่ในภาพ เมื่อทราบเส้นรอบวัตถุจะสามารถคำนวณหาขอบภาพ พื้นที่ (ขนาด) หรือรูชนิดของวัตถุนั้นได้ อย่างไรก็ตามการหาขอบภาพที่ถูกต้องสมบูรณ์ไม่ใช่เรื่องง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการหาขอบของรูปที่มีคุณภาพต่ำ มีความแตกต่างระหว่างพื้นหน้ากับพื้นหลังน้อย หรือมีความสว่างไม่สม่ำเสมอทั่วภาพขอบจากภาพเกิดจากความแตกต่างของความเข้มแสงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง หากความต่างนี้มีมากขอบภาพก็จะได้ชัด ถ้าความแตกต่างมีค่าน้อยขอบภาพก็จะไม่ชัดเจน ซึ่งในการหาขอบภาพ จะแสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 การหาขอบภาพ (ที่มา: [www.brown.edu](http://www.brown.edu))

## 2.12 เกาส์เซียน เบลอ

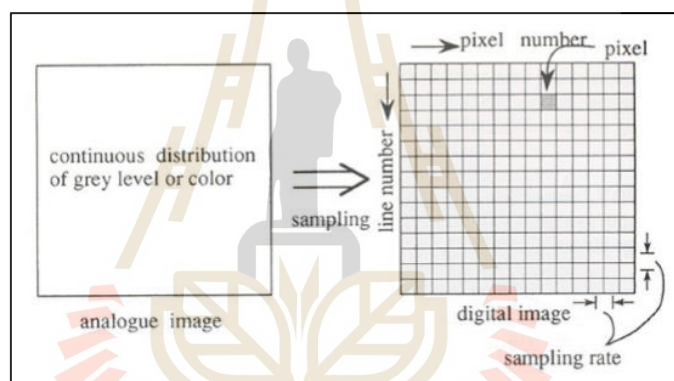
เกาส์เซียน เบลอ (Gaussian Blur) หรือเรียกอีกอย่างว่า “Gaussian Smoothing” เป็นผลมาจากการเบลอภาพโดยฟังก์ชันเกาส์เซียน (ตั้งชื่อตามนักคณิตศาสตร์และนักวิทยาศาสตร์ Carl Friedrich Gauss) ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในซอฟต์แวร์กราฟิก โดยทั่วไปจะลดสัญญาณรบกวนภาพและลดรายละเอียดของภาพ ส่งผลให้การมองเห็นของภาพเป็นภาพเบลอที่คล้ายกับการดูภาพผ่านหน้าจอโปร่งแสง ซึ่งการทำเกาส์เซียน เบลอมีจุดจุดประสงค์เพื่อลดหรือกำจัดสิ่งรบกวนออกไปจากรูปภาพ โดยอาศัยคุณสมบัติการกำจัดสิ่งรบกวนจากภาพต้นแบบด้วย Gaussian Filtered Matrix เนื่องจากจะทำให้ภาพเรียบขึ้นและยังทำให้ไม่ให้เกิดขอบภาพที่ไม่ต้องการ ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 การทำเกาส์เซียน เบลอ (ที่มา: [www.apple.com](http://www.apple.com))

### 2.13 การแปลงข้อมูลภาพอนาล็อกเป็นข้อมูลภาพเชิงเลข

การแปลงข้อมูลภาพอนาล็อกเป็นข้อมูลภาพเชิงเลขปริมาณแสงที่ถูกบันทึกไว้ในหน่วยรับสัญญาณของมาตรวัดความทึบ (Densitometric Unit) โดยจะถูกแปลงเป็นค่าความสว่างเชิงเลข ( $BV_{i,j,k}$ ) ซึ่งหมายถึงตำแหน่งในภาพ แถว  $i$  คอลัมน์  $j$  และช่วงคลื่น  $k$  ในตำแหน่งสิ้นสุดของเส้นสแกน แหล่งพลังงานแสงจะเคลื่อนตำแหน่งไปทางแกน  $Y$  และจะสแกนขนานกับเส้นที่ผ่านการสแกนไปแล้ว หลังจากทำการสแกนครบทั้งภาพจะได้ข้อมูลภาพเชิงเลขที่มีจุดภาพเป็นองค์ประกอบ พื้นฐาน กระบวนการแปลงภาพอนาล็อกเป็นข้อมูลภาพเชิงเลขจะได้ผลลัพธ์เป็นเมตริกซ์ของค่าความสว่างที่นิยมบันทึกเป็นไฟล์ขนาด 8 บิต ที่ให้ค่าความสว่างระหว่าง 0 ถึง 255 ข้อมูลเหล่านี้จะถูกเก็บไว้ในหน่วยบันทึกข้อมูลแบบสำรองสำหรับการวิเคราะห์ผลภาพเชิงเลขต่อไป (Jensen. J. R., 2005) แสดงดังรูปที่ 2.17

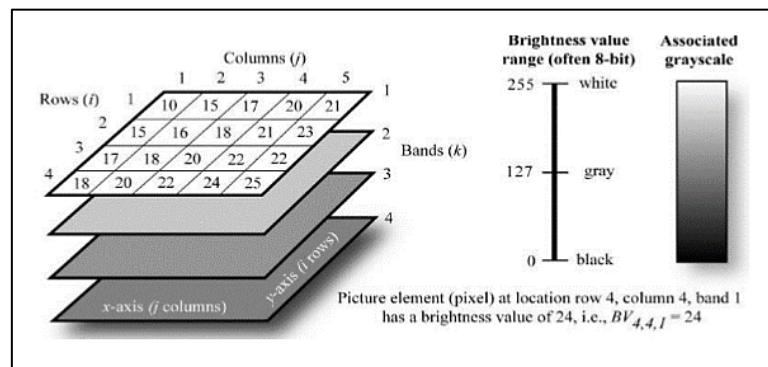


รูปที่ 2.17 การแปลงข้อมูลภาพอนาล็อกเป็นข้อมูลภาพเชิงเลข

(Japan Association on remote Sensing, 1993)

### 2.14 คุณลักษณะของข้อมูลเชิงเลข

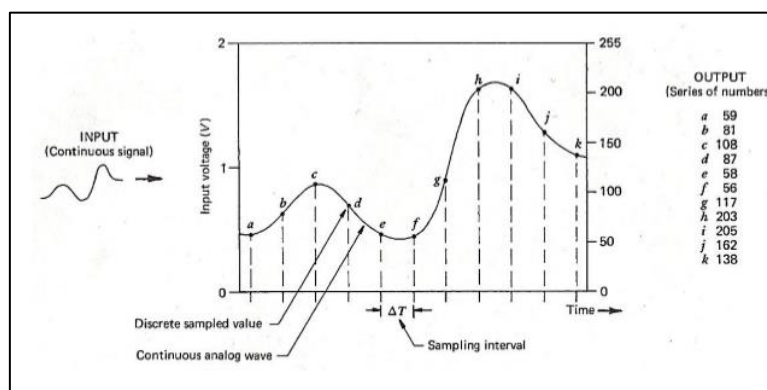
ข้อมูลภาพเชิงเลขประกอบด้วยองค์ประกอบที่เรียกว่า “จุดภาพ” ในแต่ละจุดภาพมีค่าตัวเลขคือ ค่าการแผ่รังสีเฉลี่ยหรือค่าความสว่างของพื้นที่ภายในจุดภาพ ขนาดพื้นที่ของจุดภาพจะส่งผลโดยตรงต่อรายละเอียดของภาพ โดยหากพื้นที่ของจุดภาพลดลงรายละเอียดของภาพจะเพิ่มมากขึ้น ข้อมูลภาพเชิงเลขสามารถแสดงผลตามมาตราส่วนที่ต้องการได้โดยการประมวลผลเชิงเลขตามที่ถูกกำหนด (Schowengerdt, R. A., 1983) นอกจากคุณลักษณะเชิงพื้นที่และความสว่างแล้ว ชุดข้อมูลเชิงเลขจะมีคุณลักษณะเชิงคลื่นและเชิงเวลาด้วย โดยสามารถเลือกแสดงผลภาพของภูมิทัศน์ในแต่ละช่วงคลื่นและบันทึกในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ฉะนั้นข้อมูลภาพเชิงเลขจึงเป็นเมตริกซ์แบบหลายมิติของตัวเลขที่กำหนดคุณลักษณะของภาพภูมิทัศน์ ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 คุณลักษณะข้อมูลภาพจากการรับรูปจากระยะไกล (Jensen, J. R., 2005)

ทั้งนี้ ค่าความสว่าง (Brightness Value, BV) หรือตัวเลขดิจิทัล (Digital Number, DN) จากข้อมูลการรับรู้จากระยะไกลจะเป็นตัวเลขจำนวนเต็มที่มีค่าเป็นบวก ซึ่งมาจากการแปลงค่าสัญญาณไฟฟ้าต้นฉบับที่บันทึกได้จากเครื่องมือตรวจวัดให้เป็นตัวเลขแบบจำนวนเต็มที่มีค่าเป็นบวก โดยอาศัยกระบวนการซึ่งเรียกว่า “การแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นดิจิทัล (Analog-to-Digital, A-toD)” (Lillesand, T. M., and et al., 2004) รูปที่ 2.19 แสดงกราฟของกระบวนการแปลงสัญญาณจากอนาล็อกให้เป็นดิจิทัล โดยสัญญาณไฟฟ้าจากเครื่องมือตรวจวัดจะเป็นสัญญาณแบบอนาล็อกต่อเนื่องที่ถูกสุ่มตัวอย่าง (Sampling) ในช่วงเวลาที่กำหนดไว้ ( $\Delta T$ ) และจะบันทึกค่าตัวเลขในแต่ละตำแหน่งของจุดสุ่มตัวอย่าง (a, b, ... i, k) อัตราการสุ่มตัวอย่างสำหรับสัญญาณจะถูกกำหนดโดยความถี่สูงสุดของการเปลี่ยนแปลงในสัญญาณ อัตราการสุ่มตัวอย่างต้องมีค่าอย่างน้อยสองเท่าของความถี่สูงสุดที่ปรากฏในสัญญาณต้นฉบับ เพื่อให้เป็นตัวแทนที่เพียงพอสำหรับแสดงถึงความแปรผันของสัญญาณ โดยสัญญาณขาเข้าจากเครื่องมือตรวจวัดซึ่งเป็นค่าแรงดันไฟฟ้ามีค่าระหว่าง 0-2 โวลต์ (Volt) และสัญญาณขาออกซึ่งเป็นตัวเลขดิจิทัลมีค่าเป็นตัวเลขแบบจำนวนเต็มมีค่าระหว่าง 0 ถึง 255 (ข้อมูล 8 บิต) จากภาพ ณ ตำแหน่งการสุ่มตัวอย่าง a ค่าแรงดันไฟฟ้าของตัวอย่างที่บันทึกโดยเครื่องมือตรวจวัดมีค่าเท่ากับ 0.46 โวลต์ จะถูกบันทึกเป็นข้อมูลตัวเลขมีค่าเท่ากับ 59





รูปที่ 2.19 การแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล

(Lillesand, T. M., and et al., 2004)

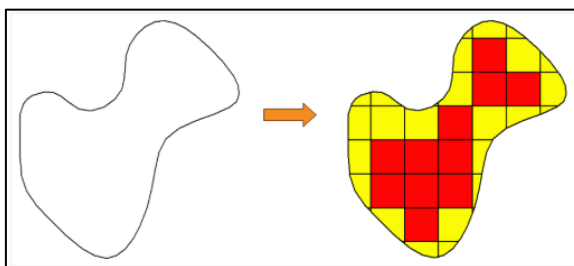
โดยทั่วไปเครื่องมือตรวจวัดแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Sensors) จะมีสมรรถนะของการทำงานภายใต้ขีดจำกัดจากการออกแบบ ความสูงและความเร็วของสถานีติดตั้งต้องสอดคล้องกับความไวของเครื่องมือตรวจวัด ในการปฏิบัติงานภายใต้สภาพแวดล้อมปกติเครื่องมือตรวจวัดจะสามารถบันทึกสัญญาณได้ในเวลาที่เพียงพอ ดังนั้นหากการออกแบบและการปฏิบัติงานของเครื่องมือตรวจวัดมีประสิทธิภาพ ระบบการถ่ายภาพจะให้การตอบสนองเชิงเส้นตรงกับความสว่างของภูมิทัศน์ ค่าความสว่างในข้อมูลจะแสดงผลอย่างถูกต้อง ทั้งนี้ หากสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมเครื่องมือตรวจวัดอาจให้ผลลัพธ์ผิดพลาดได้ (สุวิทย์ อ่องสมหวัง, 2554)

## 2.15 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ คือ เทคนิคในการวิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับการหาคำตอบโดยประมาณของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยพร้อม ๆ กับสมการปริพันธ์ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการทำระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นได้มีพื้นฐานมาจากการกำจัดสมการเชิงอนุพันธ์อย่างสมบูรณ์หรือการปรับแก้สมการเชิงอนุพันธ์ให้กลายเป็นระบบโดยประมาณค่าของสมการเชิงอนุพันธ์สามัญ ซึ่งเป็นปริพันธ์ทางคณิตศาสตร์ด้วยการใช้เทคนิคมาตรฐานทางคณิตศาสตร์อย่างเช่น Runge-Kutta Method หรือ Euler Method

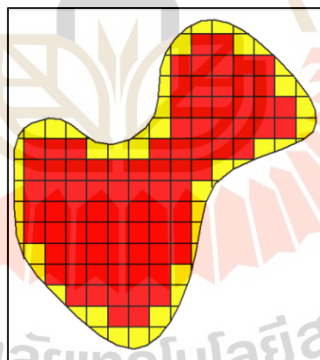
### 2.15.1 หลักการของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ คือ การแบ่งชิ้นงานขนาดใหญ่ออกให้เป็นชิ้นงานขนาดเล็ก ๆ ที่มีรูปทรงเป็นเรขาคณิต ดังรูปที่ 2.20 เช่น สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม วงกลม เป็นต้น เนื่องจากสูตรที่ใช้ในการคำนวณนั้นสามารถคำนวณได้แต่รูปทรงเรขาคณิต



รูปที่ 2.20 การแบ่งชิ้นงานขนาดใหญ่ออกเป็นชิ้นงานขนาดเล็ก ๆ  
(ที่มา: [www.thai-solidworks-simulation.blogspot.com](http://www.thai-solidworks-simulation.blogspot.com))

การหาพื้นที่ของรูปทรงใด ๆ ต้องแบ่งชิ้นงานให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาดเล็ก ๆ เพื่อง่ายในการคำนวณหาพื้นที่สี่เหลี่ยมนั้น ๆ จากนั้นเอาผลลัพธ์ของพื้นที่สี่เหลี่ยมต่าง ๆ มาบวกกันก็จะสามารถหาพื้นที่ของรูปทรงใด ๆ ได้ แต่จากรูปที่ 2.20 จะสังเกตได้ว่าพื้นที่ที่เป็นสี่เหลี่ยมนั้นเป็นสี่เหลี่ยมที่ไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความคลาดเคลื่อน จึงจำเป็นต้องเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมให้มีขนาดเล็กลง เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 การลดพื้นที่ให้มีขนาดเล็กลง เพื่อลดความคลาดเคลื่อน  
(ที่มา: [www.thai-solidworks-simulation.blogspot.com](http://www.thai-solidworks-simulation.blogspot.com))

### 2.15.2 โปรแกรมสำหรับระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

โปรแกรมสำหรับระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นเครื่องมือในการคำนวณเชิงตัวเลขด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สร้างขึ้นเพื่อให้ผู้ใช้งานเข้าถึงได้อย่างง่ายและมีหลากหลายสายงาน เช่น วิเคราะห์วัสดุ วิเคราะห์โครงสร้าง วิเคราะห์การไหล วิเคราะห์ความร้อน และอื่น ๆ โปรแกรมระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกสร้างมาเพื่อเลียนแบบพฤติกรรมของวัสดุ



หรือ โครงสร้าง เพื่อทำนายความเป็นไปได้ในการใช้งาน เช่น ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแผ่นเหล็กตรงไปเป็นแผ่นเหล็กที่มีลักษณะโค้ง เป็นต้น ซึ่งจุดเด่นของโปรแกรมระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์คือลดต้นทุนในขั้นตอนออกแบบโดยการลองผิดลองถูกด้วยการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของแบบจำลอง 3 มิติบนคอมพิวเตอร์แทนการสร้างชิ้นงานจริงเพื่อมาทดสอบ

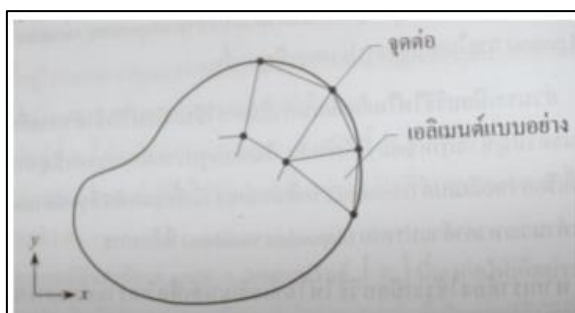
### 2.15.3 ขั้นตอนของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ในการวิเคราะห์ปัญหาใดปัญหาหนึ่งนั้นมักประกอบด้วยสมการเชิงอนุพันธ์และเงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดให้ผลแม่นยำที่ประดิษฐ์ขึ้นมาได้จะประกอบด้วยค่าของตัวแปรตามของตำแหน่งต่าง ๆ บนรูปลักษณะของปัญหานั้น

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นี้ยังบ่งชี้เป็นในว่าผลเฉลยของแต่ละเอลิเมนต์นั้นจำเป็นต้องสอดคล้อง (Satisfy) กับสมการเชิงอนุพันธ์และเงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดมาให้สำหรับปัญหานั้น ๆ ซึ่งหมายความว่าวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะต้องเริ่มพิจารณาที่ละเอลิเมนต์ โดยทำการสร้างสมการสำหรับแต่ละเอลิเมนต์ให้สอดคล้องสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหา จากนั้นจึงนำสมการของแต่ละเอลิเมนต์มาประกอบเข้าด้วยกันก่อให้เกิดระบบสมการรวม ซึ่งในความหมายทางกายภาพก็คือคล้ายกับการนำทุกเอลิเมนต์มาประกอบรวมเข้าด้วยกันก่อให้เกิดเป็นรูปร่างลักษณะ ซึ่งทั้งหมดของปัญหาที่แท้จริงแล้วจึงประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดมาให้ลงไปในระบบสมการ รวมนี้ก่อนทำการแก้ทั้งระบบสมการดังกล่าว เพื่อหาผลเฉลยโดยประมาณที่ต้องการตามตำแหน่งต่าง ๆ ของปัญหานั้น

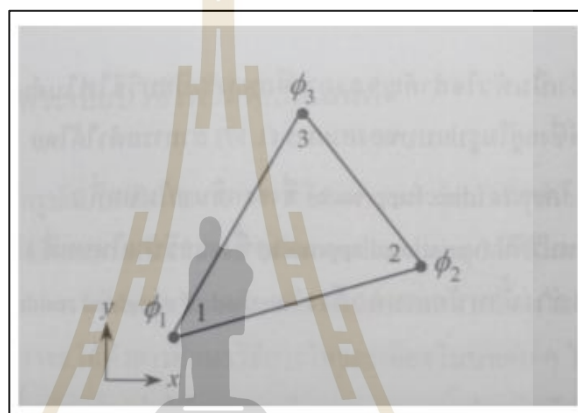
ขั้นตอนทั่วไปของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ประกอบด้วย 6 ขั้นตอนหลัก ๆ ดังต่อไปนี้

**ขั้นตอนที่ 1** การแบ่งขอบเขตรูปของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย ๆ ดังรูปที่ 2.22 ขอบเขตดังกล่าวอาจเป็นขอบเขตของปัญหาชนิดต่าง ๆ กัน เช่น ปัญหาของการไหล ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิและความร้อน เป็นต้น



รูปที่ 2.22 การแบ่งรูปร่างของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยในแบบต่าง ๆ (ปราโมทย์ เศษอำไพ, 2555)

**ขั้นตอนที่ 2** การเลือกฟังก์ชันประมาณภายในเอลิเมนต์ (Element Interpolation Functions) เช่น สมการเอลิเมนต์สามเหลี่ยม ซึ่งเอลิเมนต์นี้ประกอบด้วย 3 จุดต่อที่มีหมายเลข 1, 2 และ 3 ดังรูปที่ 2.23 โดยที่จุดต่อ (Nodal Unknown) เป็นตำแหน่งที่ตั้งของตัวไม่รู้ค่า ซึ่งได้แก่  $\phi_1$ ,  $\phi_2$  และ  $\phi_3$  ตามลำดับ ตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่ออาจเป็นค่าของการเสียรูปหากเราวิเคราะห์ปัญหาความยืดหยุ่นในของแข็งหรืออาจเป็นค่าของในอุณหภูมิหากเราทำปัญหาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนหรืออาจเป็นความเร็วของของไหล เป็นต้น ลักษณะการกระจายของตัวไม่รู้ค่าบนเอลิเมนต์นี้สามารถเขียนได้ให้อยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันการประมาณภายในและตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อได้ ดังสมการที่ 2.2



รูปที่ 2.23 เอลิเมนต์สามเหลี่ยมแบบอย่างประกอบด้วยสามจุดต่อ (ปราโมทย์ เคะชะอำไพ, 2555)

$$\phi(x, y) = N_1(x, y)\phi_1 + N_2(x, y)\phi_2 + N_3(x, y)\phi_3 \quad (2.2)$$

สมการฟังก์ชันการประมาณภายในและตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อ จากสมการฟังก์ชันการประมาณภายในและตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อโดย  $N_i(x, y)$ ,  $i = 1, 2, 3$  แทน ฟังก์ชันประมาณภายในเอลิเมนต์โดยมีตัวไม่รู้ค่าอยู่ ณ ตำแหน่งจุด ดังสมการที่ 2.3

$$\phi(x, y) = [N_1 N_2 N_3] \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} \quad (2.3)$$

$$\phi(x, y) = [N]_{(1 \times 3)} \{\phi\}_{(3 \times 1)} \quad (2.4)$$

โดยที่  $[N]$  แทนเมทริกซ์ฟังก์ชันการประมาณภายในเอลิเมนต์ และ  $\{\emptyset\}$  แทนเวกเตอร์เมทริกซ์ที่ประกอบด้วยตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อของเอลิเมนต์นั้น สัญลักษณ์  $[ ]$  แสดงถึงเมทริกซ์แนวอน และ  $\{ \}$  แสดงถึงเมทริกซ์แนวตั้งที่เรียกว่าเวกเตอร์

**ขั้นตอนที่ 3** การสร้างสมการของเอลิเมนต์ ดังตัวอย่างเช่น สมการของเอลิเมนต์สามเหลี่ยม แบบอย่างดังสมการเมทริกซ์จะอยู่ในรูปแบบ ดังสมการที่ 2.5

$$\begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{bmatrix}_e \begin{Bmatrix} \emptyset_1 \\ \emptyset_2 \\ \emptyset_3 \end{Bmatrix}_e = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{Bmatrix}_e \quad (2.5)$$

จากรูปแบบเมทริกซ์ข้างต้นซึ่งเราจะเขียนย่อ ๆ ได้ดังสมการที่ 2.6

$$[K]_e \{\emptyset\}_e = \{F\}_e \quad (2.6)$$

**ขั้นตอนที่ 4** ถือว่าเป็นหัวใจสำคัญของการศึกษาระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ การสร้างสมการของเอลิเมนต์ ซึ่งอยู่ในรูปแบบของสมการข้างต้นสามารถทำได้ โดยวิธีการโดยตรง (Direct Approach) วิธีการแปรผัน (Variational Approach) หรือวิธีถ่วงน้ำหนักเศษตกค้าง (Method of Weighted Residuals) จากสมการของแต่ละเอลิเมนต์ที่ได้มาประกอบรวมกันเข้าก่อให้เกิดระบบสมการรวมดังสมการที่ 2.7

$$\sum(\text{element equations}) \Rightarrow [K]_{\text{sys}} \{\emptyset\}_{\text{sys}} = [F]_{\text{sys}} \quad (2.7)$$

**ขั้นตอนที่ 5** ทำการประยุกต์เครื่องหมายขอบเขต (Boundary Conditions) ลงในระบบสมการรวม ข้างต้นแล้วจึงแก้ระบบสมการนี้เพื่อหา  $\{\emptyset\}_{\text{sys}}$  อันประกอบด้วยตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อ ซึ่งอาจเป็นค่าของการเคลื่อนตัวตามจุดต่าง ๆ ของโครงสร้าง หรือเป็นค่าของอุณหภูมิที่จุดต่อ หากเป็นปัญหาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนหรืออาจเป็นค่าของความเร็วของของไหลตามจุดต่อ เป็นต้น

**ขั้นตอนที่ 6** เมื่อคำนวณค่าต่าง ๆ ที่จุดต่อออกมาได้แล้วก็สามารถนำมาใช้เพื่อหาค่าอื่น ๆ ที่ต้องการต่อไปได้อีกเช่น เมื่อรู้ค่าการเสียรูปตามจุดต่อต่าง ๆ ของโครงสร้างก็สามารถนำไปหาค่าความเครียด (Strain) และความเค้น (Stress) ได้ตามลำดับ หรือเมื่อรู้ค่าอุณหภูมิที่จุดต่อ

ก็สามารถคำนวณหาปริมาณการถ่ายเทความร้อนได้ เป็นต้น จากขั้นตอนทั้ง 6 ขั้นตอนนี้จะเห็นได้ว่าระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์นี้เป็นระเบียบวิธีที่มีระเบียบแบบแผนอย่างเป็นขั้นตอน โดยมีหัวใจสำคัญอยู่ที่การสร้างสมการเอลิเมนต์ทั้ง 3 วิธีในขั้นตอนที่ 3 คือ วิธีการโดยตรง วิธีการแปรผัน และวิธีถ่วงน้ำหนักเศษตกค้าง

## 2.16 เทคนิคการสร้างการเบี่ยงเบนขณะปฏิบัติงาน

รูปร่างการเบี่ยงเบนขณะปฏิบัติงานถูกสร้างมาเพื่ออธิบายลักษณะการเคลื่อนที่ของจุดใด ๆ บนโครงสร้างหรือเครื่องจักรเทียบกับจุดอื่น ๆ โดยการนำเอาข้อมูลในแต่ละตำแหน่ง ซึ่งเป็นเวกเตอร์ที่มีทั้งขนาดและทิศทางของผลการตอบสนองจริงที่ได้มาจากการเก็บข้อมูลด้วยอุปกรณ์ตรวจวัด แล้วทำการส่งผ่านข้อมูลการสั่นที่ได้จากการทำงานไปยังจุดต่าง ๆ บนโครงสร้างในการอธิบายพฤติกรรมการสั่น ซึ่งจะมีรูปแบบการเก็บข้อมูลดังนี้

### 2.16.1 การเก็บข้อมูลในการพิจารณา

การเก็บข้อมูลในการพิจารณาใช้ทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลงความเหนียวนำแบบเชิงเส้นเป็นเครื่องมือตรวจวัด เพื่อทำการเก็บข้อมูลขนาดการขยับตัวและการสั่นสะเทือนของผนังที่นำมาทดสอบ โดยทำการตรวจวัดขนาดการขยับตัวพร้อมกันจำนวน 5 ตำแหน่ง ซึ่งจะส่งผลให้กราฟมีข้อมูลเริ่มต้นที่เวลาเดียวกัน จากนั้นทำการเก็บข้อมูลจำนวน 5 ครั้ง เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย แต่ในการเก็บข้อมูลจำนวน 5 ครั้งนั้นจะมีข้อมูลเริ่มต้นไม่เท่ากัน ซึ่งต้องทำการหาขนาดการขยับตัวสูงสุดเพื่ออ้างอิงกับการเก็บข้อมูลในครั้งอื่น ๆ โดยทำการกำหนดให้ขนาดการขยับตัวที่สูงสุดอยู่ ณ ช่วงเวลาที่ 0.45 วินาที เพื่อให้ทุก ๆ ข้อมูลมีจุดขยับตัวสูงสุดที่เวลาเดียวกัน จากนั้นทำการเฉลี่ยขนาดการขยับตัวในแต่ละช่วงเวลา

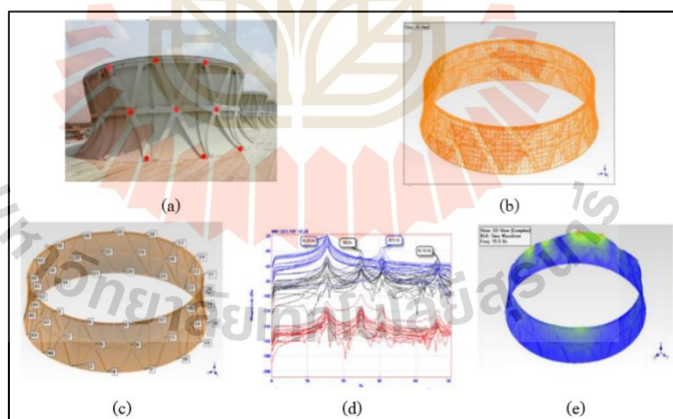
ตัวอย่างการทดสอบรูปร่างการเบี่ยงเบนขณะปฏิบัติงาน ทำการกำหนดจุดทดสอบจำนวน 5 จุด และสามารถตรวจวัดข้อมูลได้ทุกจุด โดยได้กำหนดหมายเลขไว้ในแต่ละจุด คือ จุดที่ 1 ถึงจุดที่ 5 จากนั้นทำการวัดขนาดการขยับตัวของผนังในแต่ละจุดวัด โดยใช้ทรานสดิวเซอร์ทำการวัดและเก็บข้อมูลในแนวแกนปกติ แล้วทำการใช้โปรแกรมรูปร่างการเบี่ยงเบนขณะปฏิบัติงานด้วยโปรแกรม ME'scopeVES ในการสร้างแบบจำลอง 2 มิติ เพื่อดูการเคลื่อนไหว

### 2.16.2 การเก็บข้อมูลในการพิจารณาแบบหลายจุดวัด

การเก็บข้อมูลในการพิจารณาแบบหลายจุดวัดเป็นการเก็บข้อมูลที่เหมาะกับการนำไปวิเคราะห์บนโดเมนความถี่หรือบางครั้งจะเรียกว่า “สเปกตรัม (Spectrum)” ซึ่งนิยมนำมาใช้กับการเก็บข้อมูลที่จำนวนจุดตรวจวัดมาก ๆ โดยจะทำเก็บข้อมูลที่เป็นฟังก์ชันถ่ายโอน ซึ่งคือการเก็บข้อมูลที่จุดหนึ่งเทียบกับอีกจุดหนึ่งควบคู่กันไป

ในกรณีที่ไม่สามารถวัดแรงกระทำต่าง ๆ กับ โครงสร้างทั้งหมดได้ จะใช้วิธีการวัดการสั่นสะเทือนเปรียบเทียบกันระหว่างสองตำแหน่งเป็นต้นไป โดยจะนำเอาการสั่นหรือขนาดการขยับตัวของผนังจากทรานสดิวเซอร์ในตำแหน่งที่ได้กำหนดเป็นจุดอ้างอิงที่ติดอยู่ในตำแหน่งเดิมตลอดการทดสอบ (Fixed Reference Response) ข้อมูลฟังก์ชันการถ่ายโอนที่ได้จากวิธีการนี้จะเรียกว่า “การส่งผ่าน” โดยเลือกวัดในตำแหน่ง และทิศทางที่มีการสั่นชัดเจนตลอดย่านความถี่ การเก็บข้อมูลในตำแหน่งต่าง ๆ ควรเก็บให้ครบทุกทิศทาง สำหรับตำแหน่ง และทิศทางใดที่ไม่สามารถทำการเก็บข้อมูลได้ เนื่องจากความปลอดภัยหรือข้อจำกัดต่าง ๆ สามารถเลือกตำแหน่งในการเก็บข้อมูลได้ตามแบบจำลองที่สร้างขึ้น และในโปรแกรมจะมีความสามารถในการใช้ข้อมูลการสั่นสะเทือนที่เก็บได้จากตำแหน่งข้างเคียงมาทำการประมาณค่า (Interpolation) และกำหนดค่าให้กับจุดตรวจวัดที่ไม่มีข้อมูลได้เพื่อแสดงพฤติกรรมการสั่น

ตัวอย่างการวัดแบบหลายจุดของปล่องลมระบายความร้อนขนาดใหญ่ (วินัย และคณะ, 2012) แสดงดังรูปที่ 2.24 เริ่มต้นด้วย (a) การสำรวจจุดวัดจริงที่เป็นไปได้ (b) สร้างแบบจำลองโดยประมาณด้วยโปรแกรม (c) กำหนดจุดวัดในแบบจำลองที่มีความสัมพันธ์กับจุดวัดจริง (d) เก็บข้อมูลการวัดในรูปแบบฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่การส่งผ่าน และ (e) พิจารณาภาพเคลื่อนไหวประกอบการวิเคราะห์ผล



รูปที่ 2.24 ตัวอย่างการวัดแบบหลายจุดของปล่องลมระบายความร้อนขนาดใหญ่

## 2.17 การสั่นแบบบังคับ

การสั่นแบบบังคับ (Forced Vibration) เป็นการสั่นสะเทือนภายใต้แรงกระทำ โดยแรงเหล่านั้นจะเป็นฟังก์ชันกับเวลา ซึ่งจะอยู่ในระบบต่าง ๆ เช่น แรงกระแทก (Impact Force) แรงแบบสุ่ม (Random Force) หรือแรงแบบฮาร์โมนิกส์ (Harmonics Force) เป็นต้น

โดยปกติแล้วการตอบสนองของระบบจะประกอบไปด้วยสองส่วน คือ การตอบสนองชั่วคราว (Transient Response) และการตอบสนองในสภาวะคงตัว (Steady-State Response) ซึ่งจะคงอยู่ตลอดเท่าที่มีแรงกระทำ เนื่องจากการตอบสนองชั่วคราวจะหายไปเมื่อเวลาผ่านไปพอสมควร การตอบสนองจะคงอยู่เพียงการตอบสนองในสถานะคงตัวของระบบ

### 2.17.1 แรงดล

แรงกระทำที่ไม่เป็นคาบโดยทั่วไปจะมีขนาดเปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา และมักจะกระทำในห้วงเวลาหนึ่ง แล้วหยุดกระทำไป แรงกระทำในรูปแบบนี้ที่ง่ายที่สุดคือ แรงดล (Impulsive Force) แรงดลเป็นแรงซึ่งมีขนาดใหญ่และกระทำในช่วงเวลาสั้น ๆ

การหาค่าแรงดลนั้นสามารถหาได้จากการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของระบบที่แรงนั้นกระทำ ถ้า  $\dot{x}_1$  และ  $\dot{x}_2$  เป็นความเร็วของมวล  $m$  ก่อนและหลังที่แรงดล  $F(t)$  กระทำตามลำดับ จะได้สมการดังสมการที่ 2.8

$$\text{impulse} = F \Delta t = m\dot{x}_2 - m\dot{x}_1 \quad (2.8)$$

กำหนดสัญลักษณ์  $F \Delta t$  ด้วย  $\tilde{F}$  จะสามารถเขียนแรงดลได้ดังสมการที่ 2.9

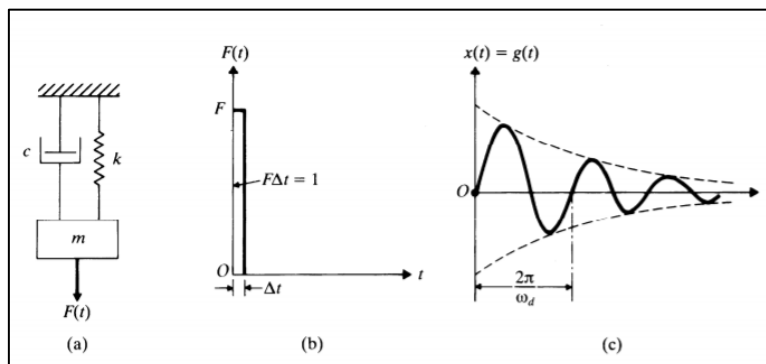
$$\tilde{F} = \int_t^{t+\Delta t} F dt \quad (2.9)$$

สำหรับ แรงดลหนึ่งหน่วย (Unit Impulse,  $\tilde{f}$ ) จะนิยามด้วยสมการที่ 2.10

$$\tilde{f} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \int_t^{t+\Delta t} F dt = F \Delta t = 1 \quad (2.10)$$

### ผลการตอบสนองต่อแรงดล

ผลการตอบสนองของระบบที่มีลำดับชั้นความเป็นอิสระเท่ากับหนึ่งที่ตกอยู่ภายใต้แรงดล พิจารณาระบบมวล-สปริง-ความหน่วง ซึ่งตกอยู่ภายใต้แรงดลหนึ่งหนึ่ง ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 2.25 (b) โดยลักษณะของแรงกระทำจะแสดงในรูปที่ 2.25 (c)



รูปที่ 2.25 แรงคลที่กระทำระบบลำดัข้้นความเป็นอิสระเท่ากับหนึ่ง

พิจารณาเฉพาะระบบที่มีความหน่วงต่ำ ซึ่งผลเฉลยของสมการการเคลื่อนที่

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \quad (2.11)$$

จะมีค่าเท่ากับ

$$x(t) = e^{-\xi\omega_n t} \left\{ x_0 \cos \omega_d t + \frac{\dot{x}_0 + \xi\omega_n x_0}{\omega_d} \sin \omega_d t \right\} \quad (2.12)$$

โดยที่

$$\xi = \frac{c}{2m\omega_n} \quad (2.13)$$

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \xi^2} = \sqrt{\frac{k}{m} - \left(\frac{c}{2m}\right)^2} \quad (2.14)$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.15)$$



ถ้ามวลอยู่ในสภาพหยุดนิ่งก่อนที่จะมีแรงคดหนึ่งหน่วยกระทำ นั่นคือ

$$x = \dot{x} = 0 \text{ เมื่อ } t < 0 \text{ หรือที่ } t = 0^- \quad (2.16)$$

ดังนั้น จากความสัมพันธ์ของโมเมนต์คดัมและแรงคด จะได้ว่า

$$\text{Unit Impulse} = \tilde{f} = 1 = m\dot{x}(t=0) - m\dot{x}(t=0) - m\dot{x}(t=0^-)$$

$$m\ddot{x}(t=0) = m\dot{x}_0$$

หรือ  $1 = m\dot{x}_0$  ทำให้สภาพเริ่มต้นมีค่าเป็น

$$x(t=0) = x_0 = 0 \quad (2.17)$$

และความเร็ว

$$\dot{x}(t=0) = \dot{x}_0 = 1/m \quad (2.18)$$

จากค่าในสมการที่ 2.17 จะทำให้ได้สมการที่ 2.11 ลดรูปดังสมการที่ 2.19

$$x(t) = g(t) = \frac{e^{-\xi\omega_n t}}{m\omega_d} \sin \omega_d t \quad (2.19)$$

## 2.18 ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.18.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบแรงกระแทก

ในปี ค.ศ. 2015 Stuart McCallum ได้ศึกษาอิทธิพลแรงและขอบเขตของแรงที่มีผลต่อความเสียหายต่อแผ่นเหล็ก T800S/3900-2B จากการกระแทกที่มีความเร็วต่ำจนถึงแรงกระแทกที่มีความเร็วสูงของวัสดุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่ (50J, 75J, 100J) ได้จำลองการการแยกสารยึดติดแบบ Element ที่มีความเหนียวแน่นและได้พัฒนาวัสดุคอมโพสิตพื้นฐานด้วย LS-DYNA 971.

Double cantilever Beam (DCB), 3-point End-Notched Flexure (ENF) and Fixed Ratio Mixed Mode Bending (FRMMB) และได้ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองเปรียบเทียบกับทฤษฎี

ในปี ค.ศ. 2016 Soo-Kyung Choi และคณะ ได้นำเสนอคุณสมบัติการรับน้ำหนักของวัสดุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่ที่ใช้สำหรับการทดสอบ Impact Resistance ของผนังเบานั่นเปลี่ยนแปลงไปตามน้ำหนักของโหลด และพบว่าค่าแรงที่กระทำสูงสุดบนผนังทดสอบแปรผันตรงกับพลังงานศักย์ นอกจากนี้ยังพบว่าความยาวของเชือกที่ใช้แขวนวัสดุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่ควรยาวมากกว่า 2.5 เมตร และเพื่อความน่าเชื่อถือของผลการทดสอบ แกนของวัสดุที่ห้อยต้องไม่มีผลต่อคุณสมบัติการรับน้ำหนัก

ในปี ค.ศ. 2016 Peng Yu และคณะ ได้ทดลองและตรวจสอบการตอบสนองและการเสียหายของแผ่นโพลีคาร์บอเนต (PC) โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าผลกระทบของวัสดุอ่อนนุ่มที่ความเร็วสูงจะกระจายแรงไปทั่วแผ่นของแผ่น PC และผลของอุณหภูมิมีผลต่อพฤติกรรมเชิงกลของแผ่น PC ภายใต้แรงกระแทก พบว่าเมื่อผลกระทบมีความสำคัญมากขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วในการกระแทกและอุณหภูมิที่สูงขึ้นของแผ่น PC จะทำให้เกิดการโก่งตัวที่ใหญ่ขึ้น

### 2.18.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการประมวลผล

ในปี ค.ศ. 2002 Gang Qian และคณะ ได้วิเคราะห์การวัดระยะทางทั้งสองโดยพิจารณาจากคุณสมบัติของเวกเตอร์ที่ถูกทำให้เป็นมาตรฐาน โดยขนาดภาพและสีของภาพพบว่าระยะมุมโคไซน์ทำงานได้ดีเมื่อเทียบกับรูปภาพในคลังข้อมูล

ในปี ค.ศ. 2007 Nan Jiang และ Zhongding Jiang ได้นำเสนอวิธีการวัดระยะทางสองวิธีโดยใช้วงกลมในภาพ วิธีแรกเกี่ยวข้องกับแยกวงกลมเป็นสองวง ซึ่งสามารถแยกระนาบขนานกับระนาบขนานได้ ส่วนอีกวิธีคือให้จุดศูนย์กลางของวงกลมสองวงบนระนาบเดียวกัน ซึ่งให้ความแม่นยำสูงกว่าการแก้สมการของจุดศูนย์กลางของวงกลมโดยตรง ทั้งสองวิธีนี้ได้รับการยืนยันโดยการทดสอบกับข้อมูลจำลองและรูปภาพจริง

ในปี ค.ศ. 2009 Hong Zhang และคณะ ได้นำเสนอวิธีการ Visual Approach สำหรับการวัดระยะทาง โดยประการแรกภาพจะถูกถ่ายในตำแหน่งที่แตกต่างกันจากนั้นพารามิเตอร์การปรับสเกลระหว่างรูปภาพเหล่านี้สามารถคำนวณได้ด้วย Fourier-Mellin Transform ซึ่งการคำนวณนี้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการหาพารามิเตอร์การปรับขนาดและการหมุนภาพระหว่างภาพ เมื่อภาพถูกหมุนหรือมีมุมที่เปลี่ยนไปก็สามารถคำนวณได้อย่างแม่นยำเช่นกัน

ในปี ค.ศ. 2018 Zhengguang Xu และคณะ ได้พัฒนาวิธีการวัดระยะทางโดยใช้ภาพ Single Target ไม่มีพารามิเตอร์ภายในกล้องและความสัมพันธ์การ mapping ระหว่างค่าพิกเซลของรูปภาพและระยะทางจริงซึ่งถูกสร้างขึ้นโดยการตรวจจับและค้นหามุมบนรูปภาพเป้าหมายอ้างอิง โดยระยะทางถูกดึงแบบเรียลไทม์โดยการรวมวิธีการตรวจจับเป้าหมายแบบ Gaussian

Mixture Model (GMM) และ Hue Saturation Intensity (HIS) โดยวิธีนี้มีขั้นตอนการสอบเทียบอย่างง่าย ๆ ด้วยภาพเดียว ซึ่งเหมาะสำหรับการใช้งานจริง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมมีประสิทธิภาพและเป็นไปตามข้อกำหนดของการตรวจจับระยะทางแบบเรียลไทม์

### 2.18.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ในปี ค.ศ. 2009 Namil K. Alpaydin และ Halit S. Turkmen ได้ศึกษาการตอบสนองแบบไดนามิกของแผงวัดโดยใช้เกจวัดความเครียด และได้ทำการสร้างแบบจำลองของแผงควบคุมนั้นโดยใช้ซอฟต์แวร์ Element ของ Ansys และได้วิเคราะห์การทดสอบแรงกระแทก ซึ่งนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบผลลัพธ์เชิงตัวเลขของเกจวัดความเครียด

ในปี ค.ศ. 2017 Eklure Basawaraj และ Dr.Kailash Chandra Panda ได้นำเสนอแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่มีประสิทธิภาพในการคำนวณเพื่อทำนายความเสียหายจากการกระแทกที่มีความเร็วต่ำในโครงสร้างลามิเนตที่ได้รับผลกระทบจากวัสดุแข็ง การสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ (FE) ถูกกำหนดไว้เป็นแบบจำลองวัสดุที่มีลักษณะเป็นตาข่าย ซึ่งการวิเคราะห์แบบจำลอง FE ที่พัฒนาขึ้นนั้นได้รับการตรวจสอบความถูกต้องโดยการวัดประสิทธิภาพ และเมื่อตรวจสอบแล้วสามารถนำไปใช้ได้อย่างมั่นใจเกี่ยวกับโครงสร้างอากาศยานทั่วไป ซึ่งวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ผลกระทบ คือการพิจารณาความต้านทานความเสียหายจากแรงกระแทก การพิจารณาการตอบสนองต่อผลกระทบ และการพิจารณาความเครียด

### 2.19 สรุปทฤษฎีและปรัทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาทฤษฎีและปรัทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง มีเป้าหมายเพื่อพัฒนาวิธีในการวัดขนาดการยุบตัวของผนังด้วยกล้องถ่ายภาพ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการทดสอบความทนทานของผนังเมื่อถูกกระแทกโดยวัสดุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่ นั้นจะทำการวัดขนาดการยุบตัวของผนังสูงสุดด้วยทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลงความเหนียวผ่านแบบเชิงเส้น ในการทดสอบนั้นจะทำติดตั้งทรานสดิวเซอร์ไว้ด้านหลังของผนังที่ทดสอบจากนั้นการปล่อยวัสดุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่กระแทกผนังซึ่งจะส่งผลเสียต่อทรานสดิวเซอร์โดยตรง หาก ทรานสดิวเซอร์เกิดความเสียหายมากจะทำให้ค่าที่อ่านได้คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงและอาจต้องสั่ง ทรานสดิวเซอร์ตัวใหม่ที่มีราคาสูงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งในการนำเข้านั้นจะใช้เวลานาน ดังนั้นจากการศึกษาปรัทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับวิธีประมวลผล จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้กับการวัดขนาดการยุบตัวของผนังโดยใช้การนำรูปภาพมาวิเคราะห์หาระยะทางระหว่างเลนส์กล้องกับผนัง หากผนังเกิดการกระแทกจะส่งผลให้ระยะทางระหว่างเลนส์กล้องกับผนังมีค่าลดลงจึงทำให้การวิเคราะห์รูปภาพในแต่ละช่วงเวลานั้นสามารถนำมาใช้งานได้ และสามารถใช้เทคนิครูปร่างการเบี่ยงเบนขณะปฏิบัติงานเพื่อคุณลักษณะการยุบตัวหรือการสั่นของผนังได้ ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธีประมวลผลภาพมา

ช่วยในการวัดขนาดการยุบตัวของผนัง และใช้เทคนิครูปร่างการเบี่ยงเบนขณะปฏิบัติงานในการจำลองลักษณะการยุบตัวหรือการถล่มของผนัง เพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากทรานสดิวเซอร์ที่เกิดความเสียหาย ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ ทรานสดิวเซอร์ และลดเวลาการทดสอบในครั้งถัดไป



## บทที่ 3

### วิธีดำเนินงานวิจัย

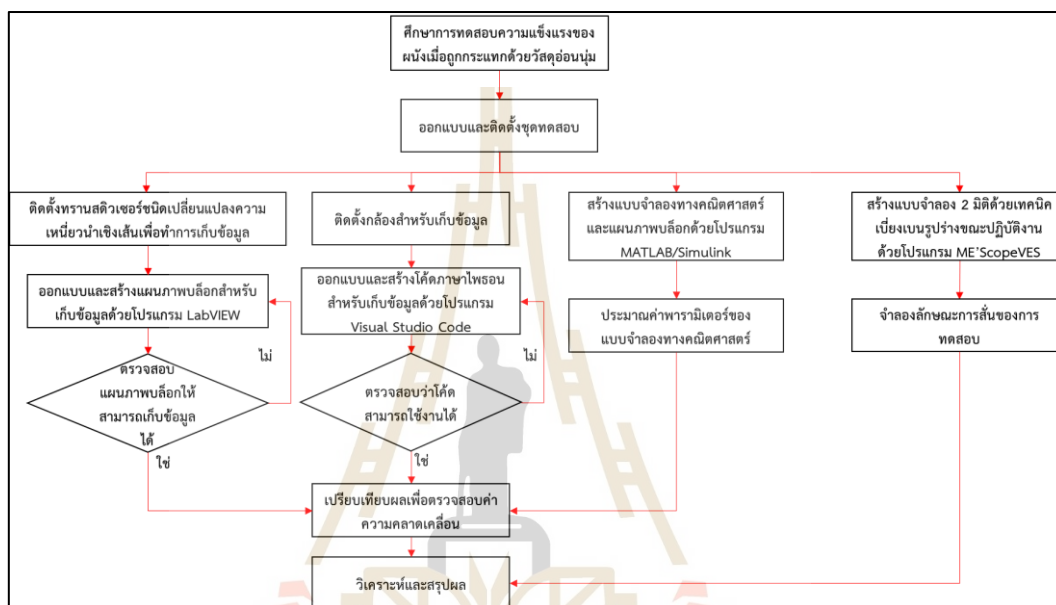
#### 3.1 บทนำ

การศึกษานี้มุ่งเน้นการวัดขนาดการยุบตัวของผนังด้วยวิธีการประมวลผลภาพในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบความแข็งแรงของผนังเมื่อได้รับแรงกระทำจากวัสดุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการทดสอบแรงกระทำ โดยปกติจะนำทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลงความเหนียวมาใช้เป็นเครื่องมือในการวัดค่าการยุบตัวของผนัง ซึ่งในการติดตั้งนำทรานสดิวเซอร์นั้นจะต้องทำการติดตั้งด้านหลังของผนังที่ทำการทดสอบ ในขณะที่ทรานสดิวเซอร์จะถูกรับแรงผ่านผนังที่โดนวัสดุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่มากระทำ และเมื่อทำการทดสอบหลาย ๆ ครั้ง ส่งผลให้ทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลงความเหนียวมาใช้แบบเชิงเส้นเกิดความเสียหายบริเวณที่ใช้ในการวัดค่าทำให้ค่าที่อ่านได้จากทรานสดิวเซอร์มีค่าผิดเพี้ยนไปจากความเป็นจริง และหากเกิดความเสียหายที่ทรานสดิวเซอร์มากจะต้องทำการสั่งทรานสดิวเซอร์ตัวใหม่จากต่างประเทศซึ่งมีราคาที่สูงและใช้เวลาในการขนส่งนาน ซึ่งในปัจจุบันมีการนำเอาวิธีการประมวลผลภาพและใช้เทคนิคการประมวลผลภาพแบบเชิงเส้นมาใช้กันอย่างแพร่หลาย ดังนั้นจึงนำวิธีการประมวลผลภาพและเทคนิคการประมวลผลภาพแบบเชิงเส้นมาใช้ โดยการนำภาพที่ได้จากการถ่ายผนังในขณะที่รับแรงกระทำมาวิเคราะห์และนำไปจำลองพฤติกรรมของการยุบตัวหรือการสั้นของผนังด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพแบบเชิงเส้นและได้มีการสร้างแบบจำลองของระบบด้วยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อลดความซับซ้อนและเวลาที่ใช้ในการทดสอบ

#### 3.2 วิธีการทดสอบ

ทำการออกแบบและติดตั้งชุดทดสอบความแข็งแรงของผนังเมื่อถูกกระทำด้วยวัสดุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่ จากนั้นทำการติดตั้งทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลงความเหนียวมาใช้แบบเชิงเส้นบริเวณด้านหลังของผนังเป็นจำนวน 5 จุด และทำการเชื่อมต่อทรานสดิวเซอร์เข้ากับอุปกรณ์ทดสอบ NI จากนั้นเก็บค่าขนาดการยุบตัวของผนังในแต่ละช่วงเวลาผ่านโปรแกรม LabVIEW และทำเก็บค่าขนาดการยุบตัวของผนังด้วยการนำรูปภาพจากกล้องมาวิเคราะห์ด้วยโค้ดเป็นภาษาไพธอนด้วยโปรแกรม Visual Studio Code ซึ่งจากการทดสอบทั้งสองวิธีนั้นสามารถนำข้อมูล

มาเปรียบเทียบกันได้ โดยจะเปรียบเทียบขนาดการยุบตัวสูงสุดของผนัง ซึ่งสามารถนำข้อมูล มาสร้างแบบจำลองเพื่อคุณลักษณะและขนาดการยุบตัวของผนังได้ผ่านโปรแกรม ME'scopeVES และทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบที่ใช้ในการทดสอบด้วยการสร้าง แผนภาพบล็อกผ่าน โปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อทำการประมาณค่าพารามิเตอร์ (Parameter Estimation) โดยวิธีดำเนินงานจะถูกแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานและวิจัย

### 3.2.1 การติดตั้งชุดทดสอบ

ทำการติดตั้งชุดทดสอบความแข็งแรงของผนังเมื่อถูกกระแทกด้วยวัสดุอ่อนนุ่ม ขนาดใหญ่ โดยทำการยึดโครงอลูมิเนียมกับพื้น เพื่อไม่ให้โครงอลูมิเนียมเกิดการสั่นขณะทำการทดสอบ จากนั้นทำการยึดแผ่นสำหรับทดสอบกับโครงอลูมิเนียมซึ่งจะยึดทั้งหมด 6 จุด คือ ที่มุมด้านบนทั้งสองฝั่ง, ตรงกลาง และมุมด้านล่างของแผ่นเหล็ก โดยแผ่นทดสอบที่นำมาใช้ในการทดสอบทำมาจากเหล็กแผ่นรีดร้อน (SS 400) จากนั้นจะมีโครงสำหรับแขวนวัสดุที่สามารถปรับขนาดสูง-ต่ำได้ด้วยระบบนิวเมติกส์ ซึ่งวัสดุที่นำมาใช้ในการแขวนคือวัสดุขนาดใหญ่ที่มีน้ำหนัก 10 กิโลกรัม เพื่อเป็นวัสดุในการกระแทกหรือในการทดสอบ ดังที่ได้แสดงดังรูปที่ 3.2

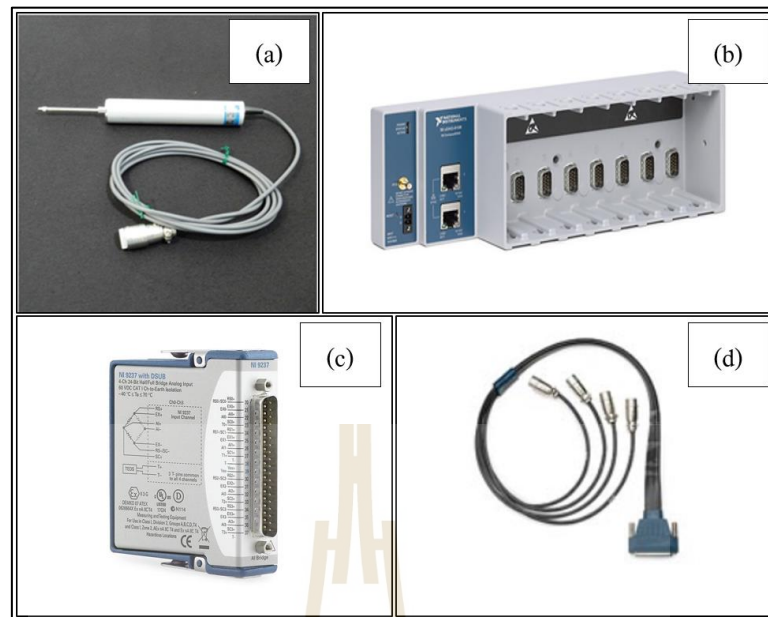




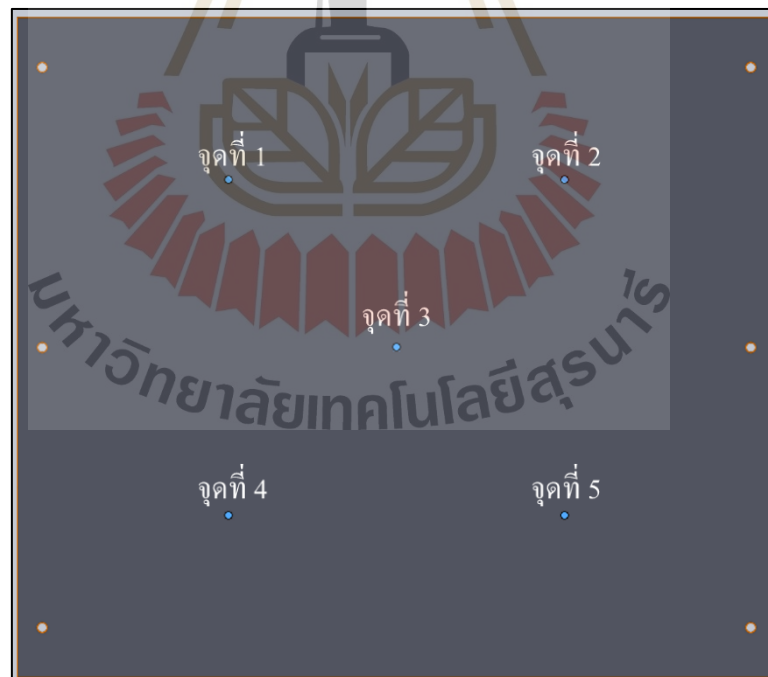
รูปที่ 3.2 ชุดทดสอบความแข็งแรงของผนังเมื่อถูกกระแทกด้วยวัสดุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่

### 3.3 การเก็บข้อมูลของการทดสอบโดยใช้ทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลงความเหนียวนำแบบเชิงเส้น

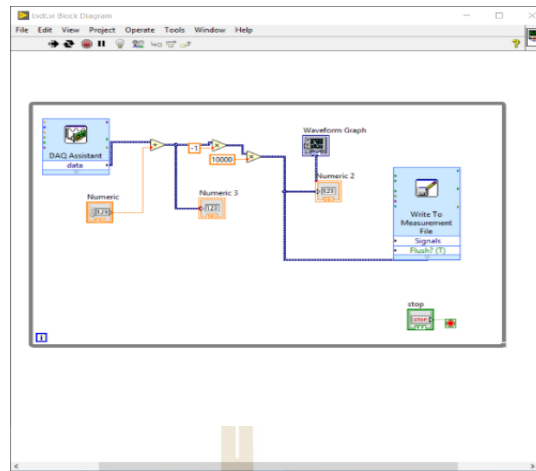
ทำการติดตั้งทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลงความเหนียวนำแบบเชิงเส้น ดังรูปที่ 3.3 (a) ด้านหลังของแผ่นทดสอบเป็นจำนวน 5 จุด ดังที่ได้แสดงดังรูปที่ 3.4 โดยจุดที่ 1 คือ จุดที่อยู่ด้านบน-ซ้ายของแผ่นทดสอบ, จุดที่ 2 คือจุดที่อยู่ด้านบน-ขวาของแผ่นทดสอบ, จุดที่ 3 คือ จุดที่อยู่ตรงกลางของแผ่นทดสอบ, จุดที่ 4 คือ จุดที่อยู่ด้านล่าง-ซ้ายของแผ่นทดสอบ และจุดที่ 5 คือ จุดที่อยู่ด้านล่าง-ขวาของแผ่นทดสอบ จากนั้นทำการเชื่อมต่อทรานสดิวเซอร์เข้ากับอุปกรณ์ทดสอบ NI ซึ่งประกอบไปด้วย Compact DAQ Chassis ดังรูปที่ 3.3 (b) DAQ (NI9237) ดังรูปที่ 3.3 (c) และ 37-PIN Female Cable for Use with NI 9237 D-Sub Module ดังรูปที่ 3.3 (d) และทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรม NI-MAX จากนั้นทำการเขียนแผนภาพบล็อกสำหรับเก็บข้อมูลผ่านโปรแกรม LabVIEW ดังรูปที่ 3.5 ซึ่งจะทำการเก็บค่าสัญญาณการยุบตัวของผนังในแต่ละจุด โดยข้อมูลที่เก็บจากโปรแกรมจะถูกบันทึกเป็นไฟล์ Excel ซึ่งจะถูกรวบรวมออกเป็น 5 คอลัมน์ โดยข้อมูลในแต่ละคอลัมน์คือ ขนาดการยุบตัวของผนังในแต่ละจุด สุดท้ายคือการนำข้อมูลที่ได้นั้นไปสร้างกราฟการสั่นของผนัง



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลด้วยทรานสดิวเซอร์



รูปที่ 3.4 ตำแหน่งจุดทดสอบบนผนัง

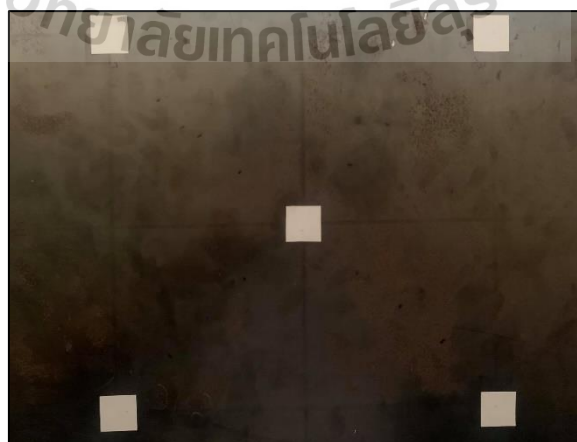


รูปที่ 3.5 แผนภาพบล็อกสำหรับเก็บข้อมูลผ่านโปรแกรม LabVIEW

### 3.4 การเก็บข้อมูลของการทดสอบโดยวิธีประมวลผลภาพ

#### 3.4.1 ติดตั้งอุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูล

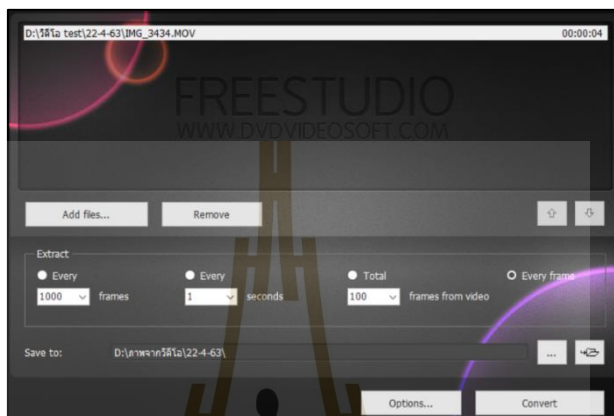
ทำการติดสติ๊กเกอร์รูปสี่เหลี่ยมเป็นจำนวน 5 จุด โดยติดจุดเดียวกันกับการทดสอบ โดยใช้ทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลงความเหนียวแบบเชิงเส้น ดังรูปที่ 3.6 เพื่อช่วยให้โปรแกรมสามารถตรวจจับขอบเขตของการวัด และทำการติดตั้งกล้องเพื่อถ่ายวิดีโอในขณะที่ทำการทดสอบโดยทำการถ่ายวิดีโอที่ไปยังจุดที่ทำการติดสติ๊กเกอร์ โดยตั้งกล้องห่างจากสติ๊กเกอร์ 6 นิ้ว เพื่อเป็นการกำหนดระยะเริ่มต้นที่จะถูกนำไปใช้ต่อในส่วนของการเขียนโค้ดเป็นภาษาไพธอนด้วยโปรแกรม Visual Studio Code



รูปที่ 3.6 สติ๊กเกอร์รูปสี่เหลี่ยมที่ได้ทำการติดแผ่นทดสอบ

### 3.4.2 แปลงไฟล์วิดีโอเป็นไฟล์รูปภาพ

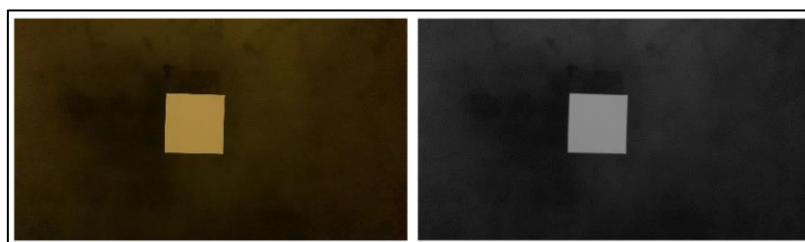
การแปลงไฟล์วิดีโอให้เป็นไฟล์รูปภาพนั้นจะสามารถแปลงไฟล์ได้ด้วยโปรแกรม Video to JPG Converter ดังรูปที่ 3.7 โดยทำการแปลงไฟล์เพื่อให้ได้รูปภาพในการทดสอบจำนวน 60 รูปต่อวินาที จากนั้นนำรูปภาพไปเข้าโปรแกรม Visual Studio Code เพื่อวิเคราะห์ในลำดับต่อไป



รูปที่ 3.7 การแปลงไฟล์วิดีโอเป็นไฟล์รูปภาพด้วยโปรแกรม Video to JPG Converter

### 3.4.3 ปรับภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา

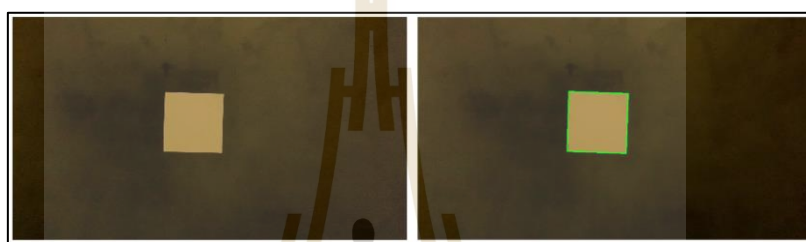
ภาพที่นำเข้ามาเพื่อแปลงเป็นภาพระดับสีเทานั้นจะเป็นภาพสี ซึ่งในแต่ละพิกเซลของภาพสีจะบ่งบอกถึงค่าของ R, ค่าของ G และค่าของ B โดยในการแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทาจะช่วยให้สามารถวิเคราะห์ภาพได้ง่ายขึ้น เนื่องจากการที่แปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทานั้นจะทำให้ค่าความเข้มของสีในแต่ละพิกเซลจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0-255 และในการแปลงเป็นภาพระดับสีเทานั้นจะทำการแปลงผ่าน โคลด์ที่ถูกเขียนขึ้นมาจากภาษาไพธอนด้วยโปรแกรม Visual Studio Code ซึ่งในการแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทานั้นจะถูกแสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 การปรับภาพสีเป็นภาพระดับสีเทาของรูปที่นำมาวิเคราะห์

### 3.4.4 กำหนดพื้นที่ที่สนใจหรือกำหนดขอบเขต

การกำหนดพื้นที่ที่สนใจหรือกำหนดขอบเขตคือการสร้างกล่องสี่เหลี่ยมสำหรับปิดล้อมรอบบริเวณนั้น ๆ หรือบริเวณที่ถูกกำหนดหมายเลข ซึ่งกล่องสี่เหลี่ยมนี้จะช่วยในการคำนวณจุดศูนย์กลางพื้นที่ ความยาวแกนเอก-แกนโท จุดพิกัด ๆ ของบริเวณหรือวัตถุในภาพที่สนใจ ซึ่งจากการติดสติ๊กเกอร์รูปสี่เหลี่ยมจะช่วยให้โปรแกรมจะสามารถตรวจจับขอบเขตตามที่กำหนดได้ง่ายยิ่งขึ้นและส่งผลให้มีความคลาดเคลื่อนลดน้อยลง โดยในการกำหนดขอบเขตจะกำหนดไว้  $1 \times 1$  นิ้ว ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การกำหนดพื้นที่ที่สนใจหรือกำหนดขอบเขตของรูปที่นำมาวิเคราะห์

### 3.4.5 หาขอบภาพของรูป

ขอบภาพหรือขอบเขตภาพ คือ เส้นที่แบ่งระหว่างวัตถุกับพื้นหลังหรือแยกวัตถุสองวัตถุออกจากกันทำให้เห็นลักษณะ รูปร่าง และรายละเอียดที่ชัดเจนยิ่งขึ้นจากพื้นหลัง การหาขอบภาพจะเป็นการประมวลผลจากพิกเซลข้างเคียงโดยวัดจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงที่เกิดขึ้น ซึ่งในการหาขอบภาพของรูปจะถูกเขียนด้วยภาษาไพธอน โดยผลจากการหาขอบภาพของรูปจะถูกแสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การหาขอบภาพของรูปนำมาวิเคราะห์

### 3.4.6 หาขนาดการยุบตัวของผนัง

การหาขนาดการยุบตัวของผนังสามารถทำได้ด้วยการใช้หลักความคล้ายคลึงของตรีโกณมิติ ซึ่งสามารถคำนวณหาระยะทางระหว่างผนังกับเลนส์กล้อง โดยการทดสอบความแข็งแรงของผนังเมื่อถูกกระแทกด้วยวัตถุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่จะส่งผลกับระยะทางระหว่างผนังกับเลนส์กล้อง ซึ่งจากการกระแทกทำให้ผนังเกิดการสั่น เมื่อนำรูปภาพมาวิเคราะห์ฟิสิกเซลจะทำให้ฟิสิกเซลของสติ๊กเกอร์ที่ติดอยู่บนผนังเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากสติ๊กเกอร์เคลื่อนที่เข้าหาหรือออกห่างจากเลนส์กล้อง โดยในการหาขนาดการยุบตัวของผนังนั้นจะต้องนำเอารูปภาพรูปแรกเป็นรูปภาพอ้างอิงระยะทาง จากนั้นรูปถัด ๆ ไปจะคำนวณฟิสิกเซลและเปรียบเทียบกับรูปภาพอ้างอิงที่ได้แสดงดังรูปที่ 3.11 ซึ่งตัวเลขที่อยู่ในรูปภาพคือระยะห่างระหว่างผนังกับเลนส์กล้อง จึงจำเป็นต้องนำค่านั้นมาลบออกกับระยะห่างระหว่างผนังกับกล้องจึงจะได้ขนาดการยุบจริงของผนัง



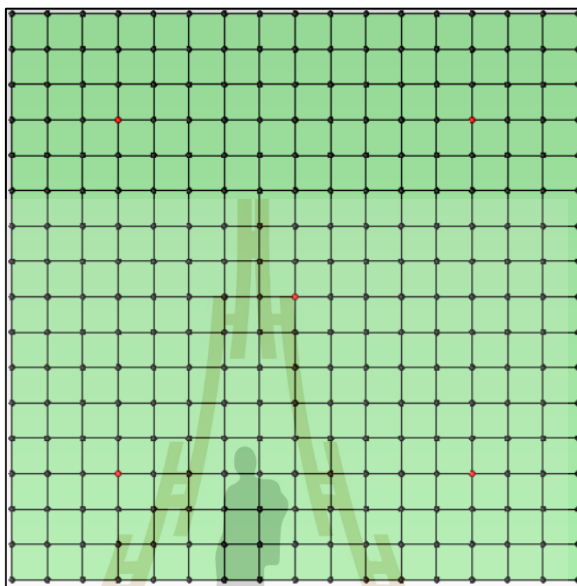
รูปที่ 3.11 ระยะห่างระหว่างผนังกับวัตถุโดยเปรียบเทียบกับรูปอ้างอิง

### 3.5 การใช้เทคนิคการเรียงเบนขณะปฏิบัติงานด้วยการใช้โปรแกรม ME'scopeVES

ในการเก็บข้อมูลการทดสอบโดยใช้ทรานสดิวเซอร์ชนิดแปลงความเหนียวนำแบบเชิงเส้น และการเก็บข้อมูลของการทดสอบโดยวิธีประมวลผลภาพ จากกล้องนั้นสามารถหาขนาดการยุบตัวในแต่ละช่วงเวลาและขนาดการยุบตัวสูงสุดของผนังได้ ซึ่งเป็นทางค่าในทางสถิต (Static) ส่วนในทางพลวัต (Dynamic) นั้นจะต้องสร้างแบบจำลอง เพื่อจำลองการเคลื่อนสั่นหรือการเคลื่อนที่ของผนังในแต่ละช่วงเวลา โดยในการสร้างแบบจำลองนั้นต้องสร้างรูปร่างของแผ่นที่นำมาทดสอบและกำหนดจำนวนจุดที่ต้องการนำมาประมาณค่า ดังรูปที่ 3.12 จากนั้นนำข้อมูลจากการเก็บมูลโดยใช้ทรานสดิวเซอร์ชนิดแปลงความเหนียวนำแบบเชิงเส้นและค่าจากการเก็บข้อมูลโดยวิธีประมวลผลภาพมาใส่ในจุดที่ได้ทำการทดสอบ โดยจะมีจุดที่ได้ทำการทดสอบจริงและจุดที่นำข้อมูลที่จากการทดสอบจริงมาทำการ ประมาณค่า รวมทั้งหมด 289 จุด



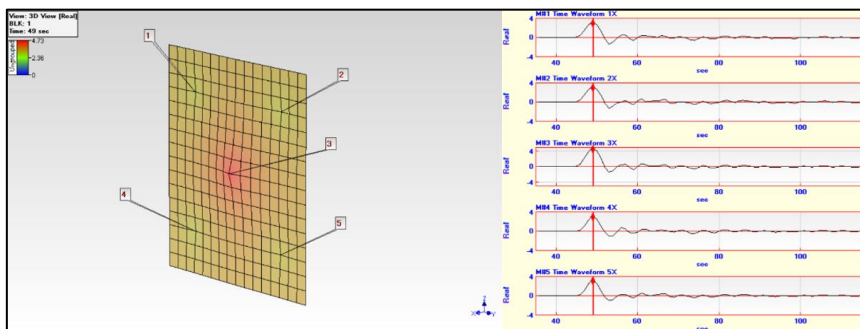
ดังรูปที่ 3.13 จากนั้นทำการประมาณค่าข้อมูลไปยังจุดต่าง ๆ เพื่อช่วยให้การจำลองสมจริงมากยิ่งขึ้น และเมื่อทำการประมวลผลแบบจำลองจะได้ลักษณะการสั้นของผนังในแต่ละช่วงเวลารวมถึงขนาดการยุบสูงสุดในแต่ละช่วงเวลาดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.12 รูปร่างและจำนวนจุดที่นำมาประมาณค่าของแบบจำลอง

Select Point	Hide	Label	Color	Bold	X coord. mm	Y coord. mm	Z coord. mm	Display Always	Center Point	Deformation	Acoustic Area	Acoustic Normal	Icon
1	No	1	Red	No	0	-166	166	No		Deformation	0	X	None
2	No	2	Red	No	0	166	166	No		Deformation	0	X	None
3	No	3	Red	No	0	0	0	No		Deformation	0	X	None
4	No	4	Red	No	0	-166	-166	No		Deformation	0	X	None
5	No	5	Red	No	0	166	-166	No		Deformation	0	X	None
6	No		Black	No	0	0	99.4	No		Deformation	0	X	None
7	No		Black	No	0	-33.1	99.4	No		Deformation	0	X	None
8	No		Black	No	0	-66.3	99.4	No		Deformation	0	X	None
9	No		Black	No	0	33.1	99.4	No		Deformation	0	X	None
10	No		Black	No	0	166	66.3	No		Deformation	0	X	None
11	No		Black	No	0	-133	99.4	No		Deformation	0	X	None
12	No		Black	No	0	66.3	99.4	No		Deformation	0	X	None
13	No		Black	No	0	99.4	99.4	No		Deformation	0	X	None
14	No		Black	No	0	-232	99.4	No		Deformation	0	X	None
15	No		Black	No	0	-199	99.4	No		Deformation	0	X	None
16	No		Black	No	0	265	66.3	No		Deformation	0	X	None
17	No		Black	No	0	-265	99.4	No		Deformation	0	X	None
18	No		Black	No	0	199	66.3	No		Deformation	0	X	None
19	No		Black	No	0	-99.4	99.4	No		Deformation	0	X	None
20	No		Black	No	0	232	66.3	No		Deformation	0	X	None
21	No		Black	No	0	-166	99.4	No		Deformation	0	X	None
22	No		Black	No	0	-66.3	133	No		Deformation	0	X	None
23	No		Black	No	0	-33.1	133	No		Deformation	0	X	None
24	No		Black	No	0	-133	133	No		Deformation	0	X	None
25	No		Black	No	0	-99.4	133	No		Deformation	0	X	None
26	No		Black	No	0	66.3	133	No		Deformation	0	X	None
27	No		Black	No	0	99.4	133	No		Deformation	0	X	None
28	No		Black	No	0	0	133	No		Deformation	0	X	None
263	No		Black	No	0	232	-133	No		Deformation	0	X	None
264	No		Black	No	0	33.1	-133	No		Deformation	0	X	None
265	No		Black	No	0	66.3	-133	No		Deformation	0	X	None
266	No		Black	No	0	-33.1	-133	No		Deformation	0	X	None
267	No		Black	No	0	0	-133	No		Deformation	0	X	None
268	No		Black	No	0	166	-133	No		Deformation	0	X	None
269	No		Black	No	0	199	-133	No		Deformation	0	X	None
270	No		Black	No	0	99.4	-133	No		Deformation	0	X	None
271	No		Black	No	0	133	-133	No		Deformation	0	X	None
272	No		Black	No	0	-33.1	-99.4	No		Deformation	0	X	None
273	No		Black	No	0	-199	-66.3	No		Deformation	0	X	None
274	No		Black	No	0	-166	-66.3	No		Deformation	0	X	None
275	No		Black	No	0	-265	-66.3	No		Deformation	0	X	None
276	No		Black	No	0	-232	-66.3	No		Deformation	0	X	None
277	No		Black	No	0	-66.3	-66.3	No		Deformation	0	X	None
278	No		Black	No	0	-33.1	-66.3	No		Deformation	0	X	None
279	No		Black	No	0	-133	-66.3	No		Deformation	0	X	None
280	No		Black	No	0	-99.4	-66.3	No		Deformation	0	X	None
281	No		Black	No	0	265	-99.4	No		Deformation	0	X	None
282	No		Black	No	0	66.3	-99.4	No		Deformation	0	X	None
283	No		Black	No	0	99.4	-99.4	No		Deformation	0	X	None
284	No		Black	No	0	0	-99.4	No		Deformation	0	X	None
285	No		Black	No	0	33.1	-99.4	No		Deformation	0	X	None
286	No		Black	No	0	199	-99.4	No		Deformation	0	X	None
287	No		Black	No	0	232	-99.4	No		Deformation	0	X	None
288	No		Black	No	0	133	-99.4	No		Deformation	0	X	None
289	No		Black	No	0	166	-99.4	No		Deformation	0	X	None

รูปที่ 3.13 จำนวนข้อมูลของทุกจุดบนแบบจำลอง



รูปที่ 3.14 ลักษณะการสั้นของแบบจำลองที่ขนาดการยุบสูงสุด

### 3.6 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และสมการความสัมพันธ์ของระบบ

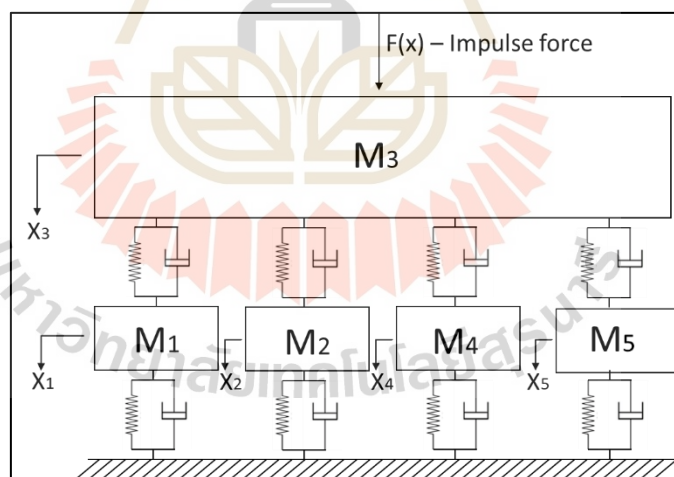
การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และสมการความสัมพันธ์ของระบบจะถูกสร้างมาจากแบบจำลองของผนัง ในการทดสอบความแข็งแรงของผนังเมื่อถูกกระแทกด้วยวัสดุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่จะนำวัสดุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่กระแทกที่ตรงกลางของแผ่นทดสอบ ซึ่งในการกระแทกจะมีแรงส่งไปยังตรงกลางของผนังทดสอบและจะกระจายออกไปบริเวณใกล้เคียงโดยแรงที่กระจายออกไปจะมีค่าน้อยลงจึงได้สร้างแบบจำลองโดยให้มีแดมเปอร์ (Damper) และสปริง (Stiffness) อยู่ระหว่างจุดเพื่อเป็นตัวแทนที่ส่งผลให้แรงหรือขนาดการยุบตัวลดลงดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แบบจำลองของผนังที่ถูกกระจายแรง

### 3.6.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทดสอบความแข็งแรงของผนังเมื่อถูกกระแทกด้วยวัสดุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทดสอบนั้นจะช่วยให้การทดสอบในครั้งต่อไปมีความรวดเร็วมากขึ้น ซึ่งในการทดสอบครั้งต่อไปอาจจะเป็นการเพิ่มแรงที่ใช้ในการกระแทกเนื่องมาจากการเพิ่มมวลของวัสดุหรือเพิ่มความสูงที่ตกกระทบ โดยในโมเดลที่ได้จำลองจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.16 ซึ่งจะมีตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่  $F$  คือ แรงคด หรือแรงที่วัสดุตกกระทบกับผนัง,  $X$  คือ ระยะการยุบตัวของผนัง และ  $m$  คือ มวลของแผ่นทดสอบ โดยในการทดสอบจะทำการปล่อยวัสดุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่มากระแทกแผ่นผนังซึ่งนั่นก็คือ แรงคด หลังจากแผ่นทดสอบได้รับแรงกระแทกแล้วจะเกิดการสั่นหรือการเคลื่อนตัว ซึ่งในแต่ละจุดจะมีการสั่นที่ไม่เท่ากันจึงทำให้เกิดตัวแปรจำนวน 5 ตัว คือ  $X_1, X_2, X_3, X_4$  และ  $X_5$  และในแต่ละจุดจะมีมวลซึ่งมีค่าแตกต่างกันออกไปเนื่องจากแผ่นทดสอบไม่ได้เป็นวัตถุแข็งเกรง (Rigid Body) ส่งผลให้มีตัวแปร  $M_1, M_2, M_3, M_4$  และ  $M_5$  โดยที่ตำแหน่งบน-ซ้ายจะถูกแทนด้วยเลข 1 ตำแหน่งบน-ขวาจะถูกแทนด้วยเลข 2 ตำแหน่งตรงกลางจะถูกแทนด้วยเลข 3 ตำแหน่งล่าง-ซ้ายจะถูกแทนด้วยเลข 4 และที่ตำแหน่งล่าง-ขวา จะถูกแทนด้วยเลข 5

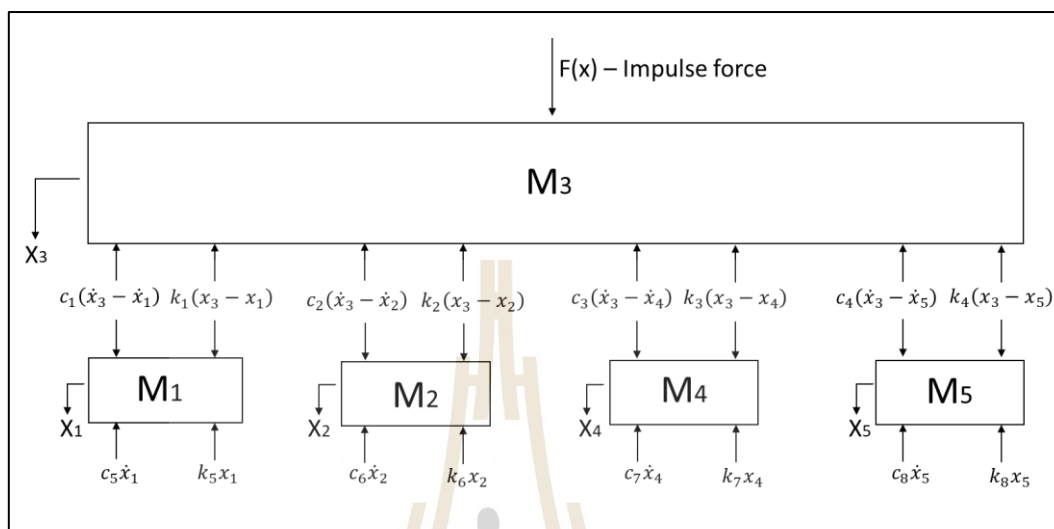


รูปที่ 3.16 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ

### 3.6.2 สมการของระบบสำหรับสร้างแผนภาพบล็อก

จากโมเดลสำหรับการทดสอบนั้นเมื่อมีแรงมากระทำที่จุดตรงกลางจะทำให้แรงนั้นกระจายออกไปยังส่วนต่างๆของแผ่นทดสอบแต่ขนาดของแรงจะมีขนาดที่ลดลงด้วย ซึ่งจะส่งผลให้ขนาดการยุบตัวที่จุดตรงกลางมีมากที่สุดจากนั้นที่บริเวณรอบๆจะมีขนาดการยุบตัว

ที่ลดลงมา จึงทำให้สามารถสร้างให้โมเดลมีสปริงและแดมเปอร์ในระบบเพื่อลดขนาดการยุบตัวจากจุดตรงกลาง ( $M_3$ ) ซึ่งทำให้โมเดลมีลักษณะดังรูปที่ 3.17

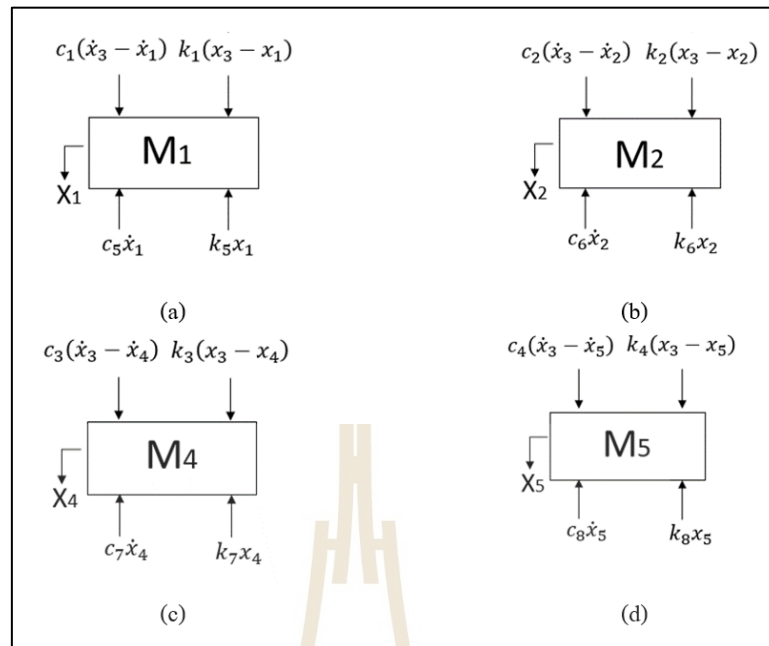


รูปที่ 3.17 แผนภาพอิสระของวัตถุที่ตำแหน่งตรงกลางของผนัง

เมื่อวิเคราะห์จุดตรงกลาง ( $M_3$ ) ที่มีแรงดลมากระทำจะได้สมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$\begin{aligned}
 m_3 \ddot{x}_3 &= -c_1(\dot{x}_3 - \dot{x}_1) - k_1(x_3 - x_1) - c_2(\dot{x}_3 - \dot{x}_2) - k_2(x_3 - x_2) - c_3(\dot{x}_3 - \dot{x}_4) \\
 &\quad - k_3(x_3 - x_4) - c_4(\dot{x}_3 - \dot{x}_5) - k_4(x_3 - x_5) + F(x) \\
 m_3 \ddot{x}_3 + c_1(\dot{x}_3 - \dot{x}_1) + k_1(x_3 - x_1) + c_2(\dot{x}_3 - \dot{x}_2) + k_2(x_3 - x_2) + c_3(\dot{x}_3 - \dot{x}_4) \\
 + k_3(x_3 - x_4) + c_4(\dot{x}_3 - \dot{x}_5) + k_4(x_3 - x_5) &= F(x) \\
 m_3 \ddot{x}_3 + (c_1 + c_2 + c_3 + c_4)\dot{x}_3 + (k_1 + k_2 + k_3 + k_4)x_3 - c_1\dot{x}_1 - c_2\dot{x}_2 - c_3\dot{x}_4 \\
 - c_4\dot{x}_5 - k_1x_1 - k_2x_2 - k_3x_4 - k_4x_5 &= F(x) \\
 \ddot{x}_3 &= \frac{1}{m_3} \left[ -(c_1 + c_2 + c_3 + c_4)\dot{x}_3 - (k_1 + k_2 + k_3 + k_4)x_3 + c_1\dot{x}_1 + c_2\dot{x}_2 + c_3\dot{x}_4 + c_4\dot{x}_5 \right. \\
 &\quad \left. + k_1x_1 + k_2x_2 + k_3x_4 + k_4x_5 + F(x) \right]
 \end{aligned} \tag{3.1}$$





รูปที่ 3.18 แผนภาพอิสระของวัตถุที่ตำแหน่งต่าง ๆ

จากรูปที่ 3.18 (a) เมื่อวิเคราะห์ที่จุดบน-ซ้าย ( $M_1$ ) จะได้สมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$\begin{aligned}
 m_1 \ddot{x}_1 &= c_1 (\dot{x}_3 - \dot{x}_1) + k_1 (x_3 - x_1) - c_5 \dot{x}_1 - k_5 x_1 \\
 m_1 \ddot{x}_1 - c_1 (\dot{x}_3 - \dot{x}_1) - k_1 (x_3 - x_1) + c_5 \dot{x}_1 + k_5 x_1 &= 0 \\
 m_1 \ddot{x}_1 + (c_5 + c_1) \dot{x}_1 + (k_5 + k_1) x_1 - c_1 \dot{x}_3 - k_1 x_3 &= 0 \\
 \ddot{x}_1 &= \frac{1}{m_1} [-(c_5 + c_1) \dot{x}_1 - (k_5 + k_1) x_1 + c_1 \dot{x}_3 + k_1 x_3]
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

จากรูปที่ 3.18 (b) เมื่อวิเคราะห์ที่จุดบน-ขวา ( $M_2$ ) จะได้สมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$\begin{aligned}
 m_2 \ddot{x}_2 &= c_2 (\dot{x}_3 - \dot{x}_2) + k_2 (x_3 - x_2) - c_6 \dot{x}_2 - k_6 x_2 \\
 m_2 \ddot{x}_2 - c_2 (\dot{x}_3 - \dot{x}_2) - k_2 (x_3 - x_2) + c_6 \dot{x}_2 + k_6 x_2 &= 0 \\
 m_2 \ddot{x}_2 + (c_6 + c_2) \dot{x}_2 + (k_6 + k_2) x_2 - c_2 \dot{x}_3 - k_2 x_3 &= 0 \\
 \ddot{x}_2 &= \frac{1}{m_2} [-(c_6 + c_2) \dot{x}_2 - (k_6 + k_2) x_2 + c_2 \dot{x}_3 + k_2 x_3]
 \end{aligned} \tag{3.3}$$



จากรูปที่ 3.18 (c) เมื่อวิเคราะห์ที่จุดล่าง-ซ้าย ( $M_4$ ) จะได้สมการความสัมพันธ์ดังนี้

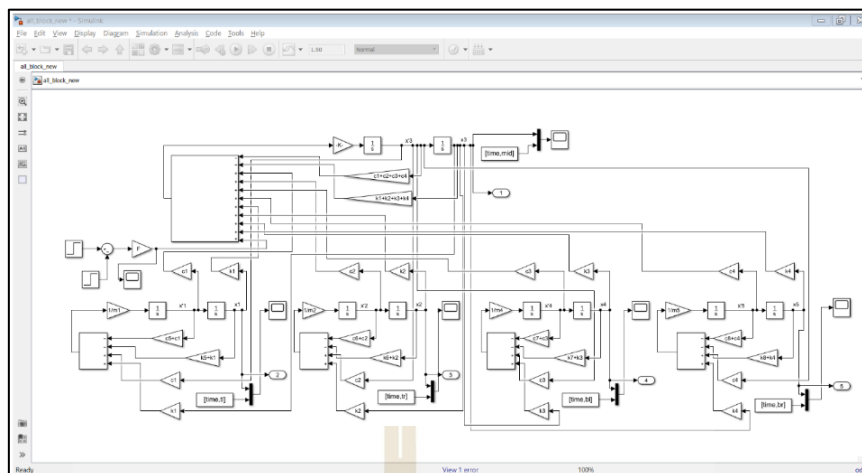
$$\begin{aligned}
 m_4 \ddot{x}_4 &= c_3 (\dot{x}_3 - \dot{x}_4) + k_3 (x_3 - x_4) - c_7 \dot{x}_4 - k_7 x_4 \\
 m_4 \ddot{x}_4 - c_3 (\dot{x}_3 - \dot{x}_4) - k_3 (x_3 - x_4) + c_7 \dot{x}_4 + k_7 x_4 &= 0 \\
 m_4 \ddot{x}_4 + (c_7 + c_3) \dot{x}_4 + (k_7 + k_3) x_4 - c_3 \dot{x}_3 - k_3 x_3 &= 0 \\
 \ddot{x}_4 &= \frac{1}{m_4} [-(c_7 + c_3) \dot{x}_4 - (k_7 + k_3) x_4 + c_3 \dot{x}_3 + k_3 x_3]
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

จากรูปที่ 3.18 (d) เมื่อวิเคราะห์ที่จุดล่าง-ขวา ( $M_5$ ) จะได้สมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$\begin{aligned}
 m_5 \ddot{x}_5 &= c_4 (\dot{x}_3 - \dot{x}_5) + k_4 (x_3 - x_5) - c_8 \dot{x}_5 - k_8 x_5 \\
 m_5 \ddot{x}_5 - c_4 (\dot{x}_3 - \dot{x}_5) - k_4 (x_3 - x_5) + c_8 \dot{x}_5 + k_8 x_5 &= 0 \\
 m_5 \ddot{x}_5 + (c_8 + c_4) \dot{x}_5 + (k_8 + k_4) x_5 - c_4 \dot{x}_3 - k_4 x_3 &= 0 \\
 \ddot{x}_5 &= \frac{1}{m_5} [-(c_8 + c_4) \dot{x}_5 - (k_8 + k_4) x_5 + c_4 \dot{x}_3 + k_4 x_3]
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

### 3.6.3 แผนภาพบล็อกสำหรับสมการความสัมพันธ์ของระบบ

ทำการสร้างแผนภาพบล็อกด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink จากสมการความสัมพันธ์ของระบบข้างต้นดังรูปที่ 3.19 ซึ่งในแผนภาพบล็อกจะกำหนดพารามิเตอร์และกำหนดค่าเริ่มต้นสำหรับพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อช่วยให้การประมาณค่าของพารามิเตอร์มีความรวดเร็วในการประมวลผลมากขึ้น โดยข้อมูลที่นำเข้ามาเปรียบเทียบและพารามิเตอร์ต่างๆ จะถูกเก็บไว้ที่พื้นที่ทำงาน (Work Space) ดังรูปที่ 3.20 ซึ่งข้อมูลที่นำมาเปรียบเทียบในโปรแกรมคือขนาดการยุบตัวที่ตำแหน่งบน-ซ้าย จะถูกแทนด้วยพารามิเตอร์  $t_r$  ขนาดการยุบตัวที่ตำแหน่งบน-ขวา ซึ่งถูกแทนด้วยพารามิเตอร์  $t_r$  ขนาดการยุบตัวที่ตำแหน่งตรงกลางจะถูกแทนด้วยพารามิเตอร์  $mid$  ขนาดการยุบตัวที่ตำแหน่ง ล่าง-ซ้าย ซึ่งถูกแทนด้วยพารามิเตอร์  $b_1$  และขนาดการยุบตัวที่ตำแหน่ง ล่าง-ขวา จะถูกแทนด้วยพารามิเตอร์  $b_r$  โดยเวลาที่ผนังเกิดการสั่นจะถูกแทนด้วยพารามิเตอร์  $time$  ซึ่งในการจำลองโมเดลของระบบนั้นต้องประกาศพารามิเตอร์ให้ครบ เพื่อให้การทำงานของแผนภาพบล็อกมีความสมบูรณ์



รูปที่ 3.19 แผนภาพบล็อกที่สร้างมาจากสมการความสัมพันธ์

Name	Value
bl	1501x1 double
br	1501x1 double
c1	964.3600
c2	1.2915e+03
c3	552.2000
c4	740.6400
c5	135.3900
c6	545.9700
c7	250.9900
c8	309.6900
F	493.6900
k1	94733
k2	54474
k3	68759
k4	67156
k5	99769
k6	67784
k7	59929
k8	51396
m1	5.4807
m2	2.5481
m3	7.1614
m4	4.8833
m5	3.0228
mid	1501x1 double
t1	0.0153
t2	0.0595
time	1501x1 double
tl	1501x1 double
tout	1501x1 double
tr	1501x1 double
yout	1x1 Dataset

รูปที่ 3.20 พารามิเตอร์ที่ถูกเก็บไว้ในพื้นที่ทำงาน

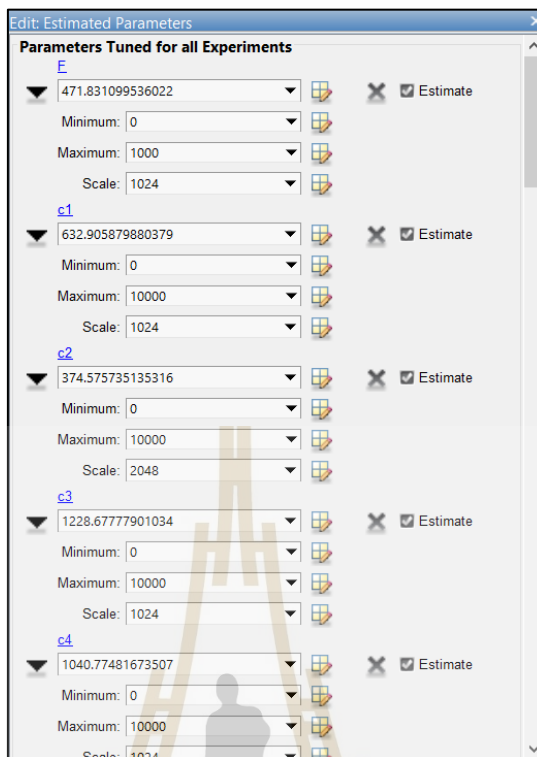
### 3.6.4 การประมาณค่าพารามิเตอร์

ในทำการประมาณค่าพารามิเตอร์นั้นเพื่อช่วยให้ลักษณะการสั่นของแบบจำลอง มีลักษณะใกล้เคียงกับลักษณะการสั่นที่ได้มาจากการเก็บข้อมูลโดยใช้ทรานสดิวเซอร์และวิธีการประมวลผลภาพ ซึ่งโปรแกรมจะทำหน้าที่เพิ่มหรือลดค่าตัวแปรต่างๆเพื่อปรับลักษณะการสั่น

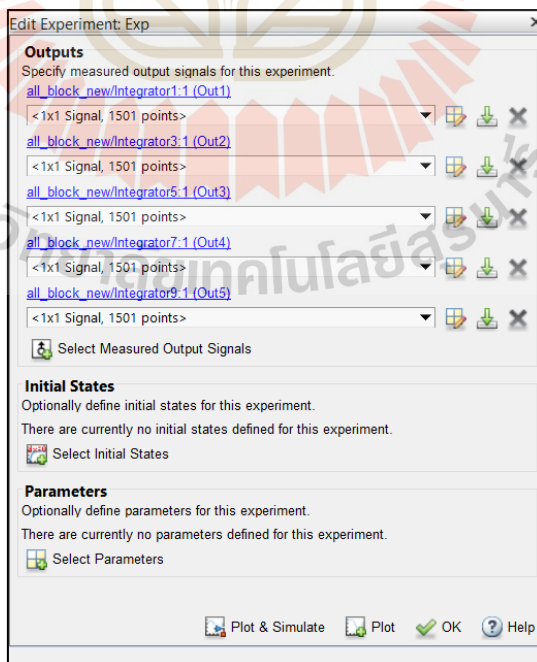
โดยเริ่มต้นจากการเลือกพารามิเตอร์ที่นำมาทำการประมาณค่า ดังรูปที่ 3.21 จากนั้นกำหนดขอบเขต (Boundary) ของพารามิเตอร์นั้น ๆ ดังรูปที่ 3.22 แล้วทำการเพิ่มการทดลอง (New Experiment) ในการประมาณค่า ซึ่งจะต้องทำการเพิ่มข้อมูลที่ได้จากการทดสอบจริง (Measured) และข้อมูลที่ได้จากการจำลอง (Simulation) ดังรูปที่ 3.23 เพื่อให้โปรแกรมสร้างกราฟลักษณะการสั่นทั้ง 2 และนำมาเปรียบเทียบกัน จากนั้นทำการประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีการ Nonlinear-Least Squares และเมื่อโปรแกรมทำการคำนวณและหาค่าพารามิเตอร์ได้แล้ว โปรแกรมจะทำการแสดงค่าพารามิเตอร์ ลักษณะกราฟการสั่นที่ได้จากการจำลอง และค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงในขณะทำการประมาณค่าดังรูปที่ 3.24

Variable	Current value	Used By
F	471.8310995360...	all block new/Gain31
bl	[3.4798e-06;-1.8...	all block new/From Workspace3
br	[-5.0714e-06;-9.8...	all block new/From Workspace4
c1	632.9058798803...	all block new/Gain, ...
c2	374.5757351353...	all block new/Gain, ...
c3	1228.677779010...	all block new/Gain, ...
c4	1040.774816735...	all block new/Gain, ...
c5	0.002742195548...	all block new/Gain2
c6	353.2518095869...	all block new/Gain5
c7	349.2244054464...	all block new/Gain8
c8	278.2096262928...	all block new/Gain12
k1	86489.27373811...	all block new/Gain1, ...
k2	72890.60204545...	all block new/Gain1, ...
k3	79633.31784160...	all block new/Gain1, ...
k4	77488.02914548...	all block new/Gain1, ...
k5	59235.35712800...	all block new/Gain3
k6	47732.84757287...	all block new/Gain6
k7	67267.38457850...	all block new/Gain9
k8	61091.27577771...	all block new/Gain13
m1	4.648794039278...	all block new/Gain4
m2	2.029210637427...	all block new/Gain7
m3	7.199598277323...	all block new/Gain10
m4	2.989163143483...	all block new/Gain11
m5	2.904012434400...	all block new/Gain14
mid	[-1.316e-06;7.74...	all block new/From Workspace
t1	0.015265	all block new/Step
t2	0.062577441393...	all block new/Step1

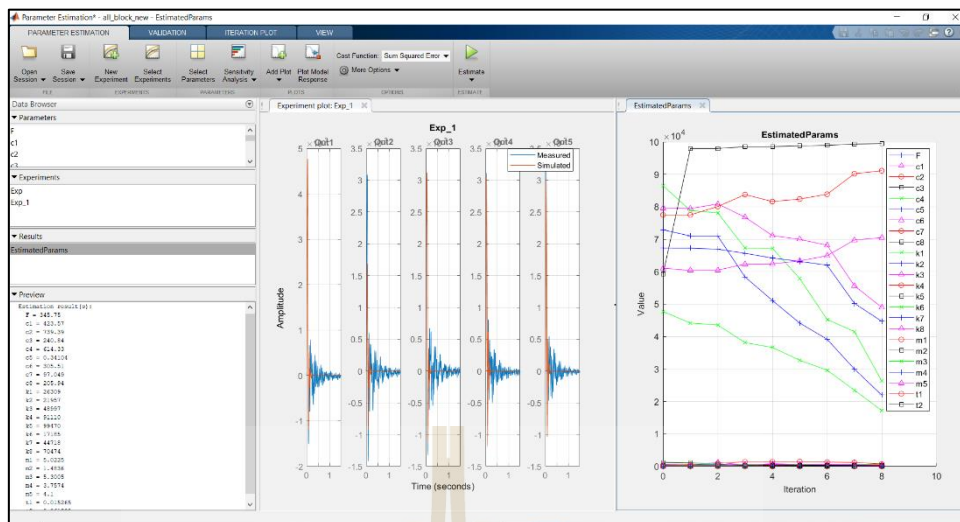
รูปที่ 3.21 การเลือกพารามิเตอร์ที่นำมาประมาณค่า



รูปที่ 3.22 การกำหนดขอบเขตของพารามิเตอร์



รูปที่ 3.23 การเพิ่มข้อมูลที่ได้จากการทดสอบจริง



รูปที่ 3.24 ลักษณะกราฟการสั่นที่ได้จากการจำลอง

### 3.7 สรุป

ในการดำเนินงานวิจัยจะแบ่งการทดสอบความแข็งแรงของผนังเมื่อได้รับแรงกระแทกจากวัสดุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่เพื่อตรวจสอบระยะยุบตัวสูงสุดและลักษณะการสั่นของผนัง โดยแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ การใช้ทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลงความเหนียวมาแบบเชิงเส้นมาใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจวัด วิธีการประมวลผลภาพ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และเทคนิครูปร่างเบี่ยงเบนขณะปฏิบัติงาน ซึ่งได้ทำการติดตั้งโครงอลูมิเนียมสำหรับการยึดกับผนังที่นำมาทดสอบ โดยวัสดุของแผ่นที่นำมาทดสอบคือ เหล็กรีดร้อน เกรด SS 400 จากนั้นกำหนดจุดที่ใช้ในการตรวจวัดจำนวน 5 จุด คือ ที่ตำแหน่งบน-ซ้าย ที่ตำแหน่งบน-ขวา ที่ตำแหน่งตรงกลาง ที่ตำแหน่งล่าง-ซ้าย และที่ตำแหน่งล่างขวาของผนัง จากนั้นทำการติดตั้งทรานสดิวเซอร์ที่ด้านหลังของผนังจำนวน 5 ตัวตามที่ได้กำหนดจุดวัดไว้ โดยได้ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ NI กับทรานสดิวเซอร์ด้วยโปรแกรม NI-MAX และทำการสร้างแผนภาพบล็อกสำหรับเก็บข้อมูลด้วยโปรแกรม LabVIEW และเมื่อทำการทดสอบด้วยการใช้ทรานสดิวเซอร์ในการตรวจวัดเสร็จสิ้น แล้วให้ทำการติดตั้งกล้องและทำการทดสอบที่ตำแหน่งเดียวกันกับการเก็บข้อมูลด้วยการใช้ทรานสดิวเซอร์ และนำภาพที่ได้จากการทดสอบมาวิเคราะห์ผลด้วยวิธีประมวลผลภาพที่ถูกเขียนด้วยภาษาไพธอนผ่านโปรแกรม Visual Studio Code ทำการสร้างสมการความสัมพันธ์ของระบบและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยได้ทำการประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อพิจารณาพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบกับพฤติกรรมการสั่น จากนั้นนำผลการทดสอบด้วยการใช้ทรานสดิวเซอร์ วิธีประมวลผลภาพ และการสร้างแบบจำลอง

ทางคณิตศาสตร์มาเปรียบเทียบขนาดการยุบตัวสูงสุดของผนัง เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละวิธี ซึ่งจากการทดสอบทั้ง 3 วิธี ไม่สามารถสังเกตลักษณะการสั่นได้จึงได้นำเทคนิคการเบี่ยงเบนรูปร่างขณะปฏิบัติงานมาประยุกต์ใช้โดยการสร้างแบบจำลอง 2 มิติ และนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบทั้ง 3 วิธีมาจำลองลักษณะการสั่นของผนังด้วยโปรแกรม ME'ScopeVES





## บทที่ 4

### ผลการดำเนินการวิจัยและการอภิปรายผล

#### 4.1 บทนำ

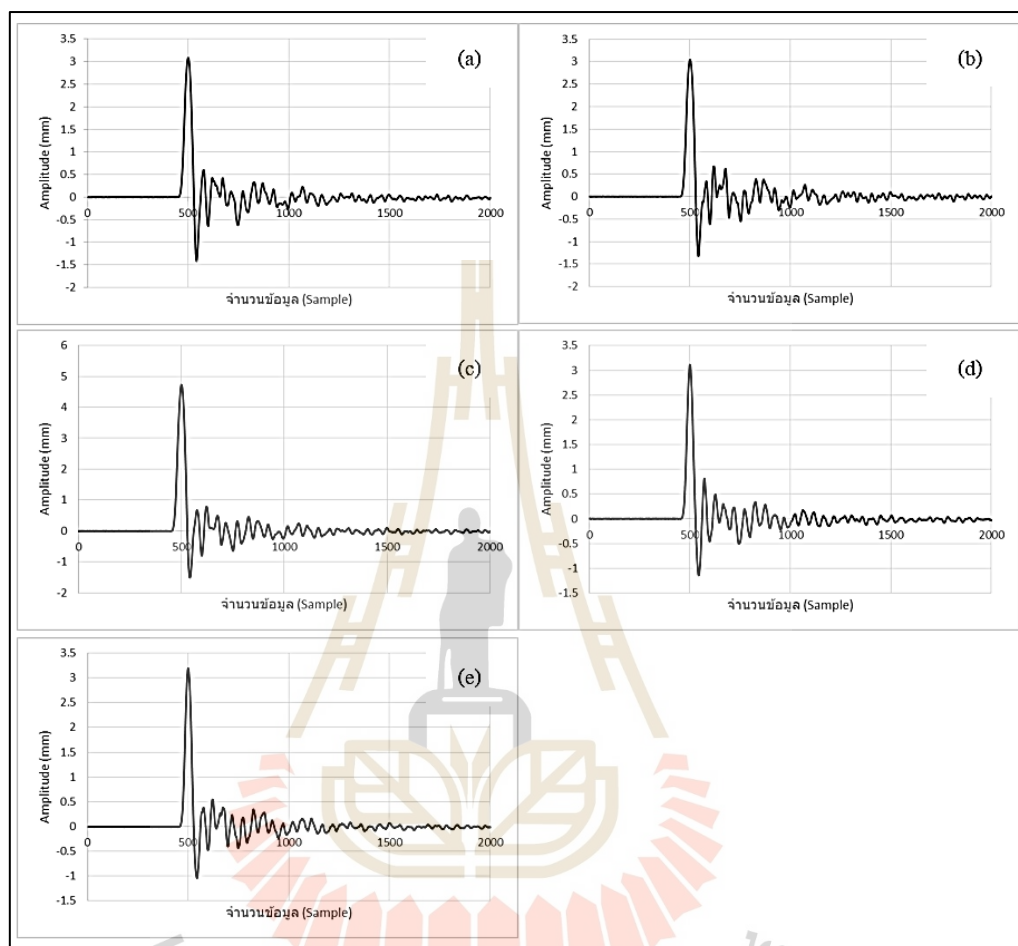
ในบทนี้จะเป็นการทดสอบการหาขนาดการยุบตัวของผนัง โดยวิเคราะห์ด้วยการใช้ทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลงความเหนียวนำแบบเชิงเส้น และวิเคราะห์จากรูปภาพที่ถ่ายจากด้านหลังของผนังในขณะที่ผนังได้รับแรงกระแทก ซึ่งในการปล่อยวัสดุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่ กระแทกผนังจะส่งผลให้ทรานสดิวเซอร์ได้รับความเสียหาย เนื่องจากในการทดสอบนั้นต้องทำการทดสอบเป็นจำนวนหลายครั้ง ดังนั้นจึงนำวิธีการประมวลผลภาพมาประยุกต์ใช้ โดยทำการบันทึกวิดีโอขณะที่ผนังได้รับแรงกระแทกและเกิดการสั่นด้วยกล้องที่มีความละเอียด 12 ล้านพิกเซล และมีอัตราเฟรมเรตอยู่ที่ 60 เฟรมต่อวินาที และนำเข้าสู่กระบวนการประมวลผลภาพเพื่อประกอบการวิเคราะห์ขนาดการยุบตัวของผนัง

โดยในการทดสอบจะเปรียบเทียบค่าความถูกต้องจากวิธีการใช้ทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลงความเหนียวนำแบบเชิงเส้นและวิธีประมวลผลภาพ ซึ่งในการทดสอบจะทำการเก็บผลการทดสอบมาเป็นจำนวน 5 ชุด โดยจำนวนแต่ละชุดคือจุดที่อยู่บนผนังทดสอบ และนำเทคนิครูปร่างการเบี่ยงเบนขณะปฏิบัติงานมาช่วยในการวิเคราะห์ผลเพื่อคุณลักษณะและพฤติกรรมการสั่นของผนัง

#### 4.2 ผลการทดสอบด้วยการใช้ทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลงความเหนียวนำแบบเชิงเส้น

ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ NI และติดตั้งทรานสดิวเซอร์ทางด้านหลังของผนัง โดยใช้โปรแกรม LabVIEW เก็บค่าผลการทดสอบ ซึ่งในโปรแกรมจะทำการเก็บค่าขนาดการยุบตัวในแต่ละช่วงเวลา โดยจะเก็บข้อมูล 1,000 ค่าต่อ 1 วินาที หรือ 1,000 เฮิร์ตซ์ และในการทดสอบจะทำการเก็บค่าพร้อมกันทั้ง 5 จุด และเก็บข้อมูลเป็นจำนวน 5 ครั้ง เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของการยุบในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งจากผลการทดสอบจะเห็นว่าจุดบนผนังที่ตำแหน่งบน-ซ้าย มีขนาดการยุบตัวสูงสุดอยู่ที่ 3.082 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.1 (a) ที่ตำแหน่งบน-ขวา มีขนาดการยุบตัวสูงสุดอยู่ที่ 3.042 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.1 (b) ที่ตำแหน่งตรงกลาง มีขนาดการยุบตัวสูงสุดอยู่ที่ 4.725 มิลลิเมตร

ดังรูปที่ 4.1 (c) ที่ตำแหน่งล่าง-ซ้าย มีขนาดการยุบตัวสูงสุดอยู่ที่ 3.113 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.1 (d) และที่ตำแหน่งล่าง-ขวา มีขนาดการยุบตัวสูงสุดอยู่ที่ 3.189 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.1 (e)

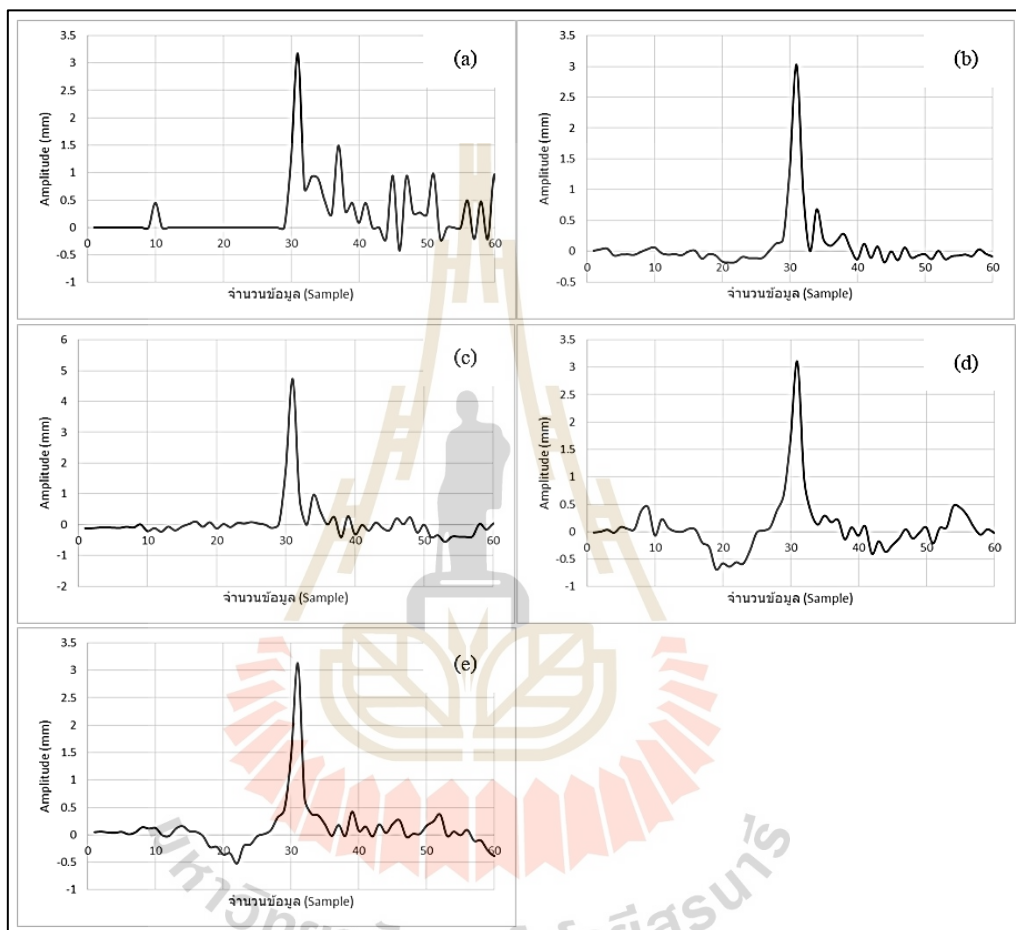


รูปที่ 4.1 ขนาดการยุบตัวของผนังที่ตำแหน่งต่าง ๆ โดยใช้ทรานสดิวเซอร์เป็นอุปกรณ์ตรวจวัด

### 4.3 ผลการทดสอบด้วยวิธีการประมวลผลภาพ

จากการนำวิดีโอไปแปลงเป็นไฟล์รูปภาพด้วยโปรแกรม Video to JPG Converter ทำให้ได้รูปภาพมาจำนวนหนึ่ง โดยในการแปลงวิดีโอเป็นรูปภาพนั้นจะถูกแปลงด้วยการนำรูปภาพในทุก ๆ เฟรมออกมา ซึ่งในการถ่ายทำการทดสอบจะใช้อัตราเฟรมเรต จำนวน 60 เฟรมต่อวินาที จากนั้นนำรูปภาพที่ได้ถ่ายจุดทดสอบจำนวน 5 จุด และได้ทำการถ่ายจุดละ 5 ครั้ง มาเข้าโปรแกรม Visual Studio Code ที่ถูกเขียนด้วยโค้ดภาษาไพธอน ซึ่งในโปรแกรมจะทำการคำนวณระยะห่างระหว่างกล้องกับผนังในแต่ละภาพ จากนั้นนำผลการทดสอบในแต่ละจุดไปหาค่าเฉลี่ยเพื่อเพิ่มความแม่นยำมากขึ้น ซึ่งจากผลการทดสอบจะเห็นว่าจุดบนผนังที่ตำแหน่งบน-ซ้าย มีขนาด

การขุดตัวสูงสุดอยู่ที่ 3.171 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.2 (a) ที่ตำแหน่งบน-ขวา มีขนาดการขุดตัวสูงสุดอยู่ที่ 3.028 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.2 (b) ที่ตำแหน่งตรงกลางมีขนาดการขุดตัวสูงสุดอยู่ที่ 4.728 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.2 (c) ที่ตำแหน่งล่าง-ซ้าย มีขนาดการขุดตัวสูงสุดอยู่ที่ 3.1 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.2 (d) และที่ตำแหน่งล่าง-ขวา มีขนาดการขุดตัวสูงสุดอยู่ที่ 3.122 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.2 (e)

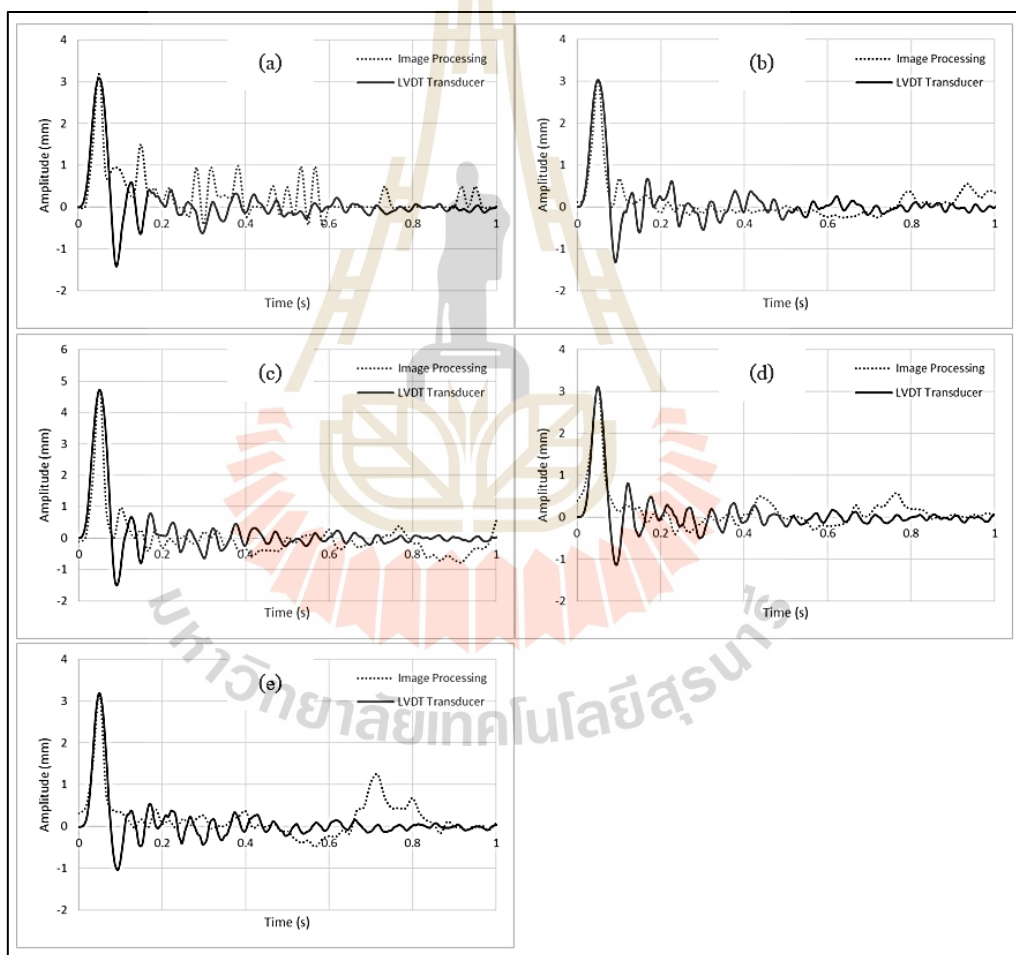


รูปที่ 4.2 ขนาดการขุดตัวของผนังที่ตำแหน่งต่าง ๆ ด้วยวิธีการประมวลผลภาพ

#### 4.4 เปรียบเทียบผลการทดสอบจากการใช้ทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลงความเหนียวนำแบบเชิงเส้นและวิธีการประมวลผลภาพ

นำเอาผลการทดสอบด้วยการใช้ทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลงความเหนียวนำแบบเชิงเส้นและผลการทดสอบด้วยวิธีการประมวลผลภาพมาเปรียบเทียบกัน โดยทำการเปลี่ยนข้อมูลในแกน X จากจำนวนข้อมูลเป็นเวลา ด้วยการนำเอาจำนวนที่สามารถเก็บได้ใน 1 วินาที มาทำการคำนวณ ซึ่งในการเก็บค่าของทรานสดิวเซอร์และการเก็บค่าของกล้องนั้นจะมีค่า

1,000 เฮิร์ตซ์ และ 60 เฮิร์ตซ์ ตามลำดับ หมายความว่าข้อมูลที่ได้จากทรานสดิวเซอร์จำนวน 1 ค่า จะใช้เวลา 0.001 วินาที และข้อมูลที่ได้จากการถ่ายภาพจากกล้องจำนวน 1 ค่าจะใช้เวลา 0.0167 วินาที จากนั้นนำเอากราฟทั้งสองวิธีมาเปรียบเทียบกัน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.3 ซึ่งขนาดการยุบตัวสูงสุดที่ตำแหน่งบน-ซ้าย มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 2.763% ดังรูปที่ 4.3 (a) ที่ตำแหน่งบน-ขวา มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.459% ดังรูปที่ 4.3 (b) ที่ตำแหน่งตรงกลางมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.044% ดังรูปที่ 4.3 (c) ที่ตำแหน่งล่าง-ซ้าย มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.403% ดังรูปที่ 4.3 (d) และที่ตำแหน่งล่าง-ขวา มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 2.091% ดังรูปที่ 4.3 (e) ซึ่งเมื่อนำมาสร้างตารางเปรียบเทียบขนาดการยุบตัวสูงสุดและค่าความคลาดเคลื่อนดังตารางที่ 4.1



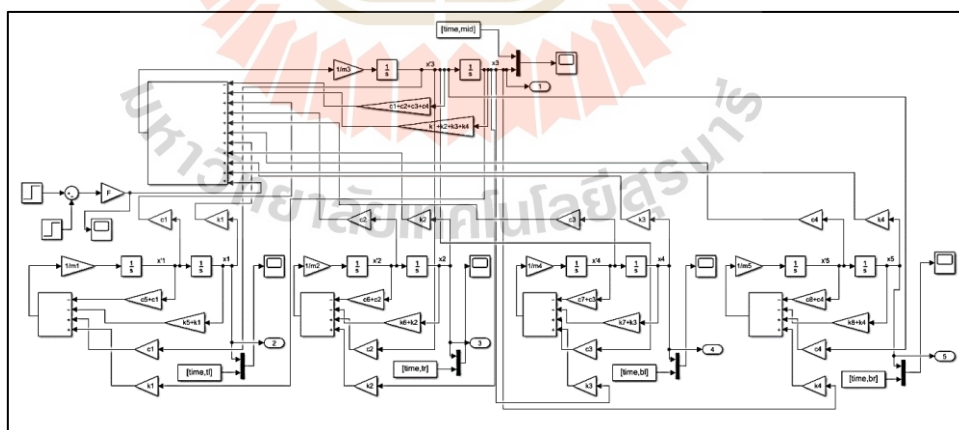
รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบขนาดการยุบตัวที่ตำแหน่งต่าง ๆ ด้วยการเก็บค่าจากทรานสดิวเซอร์ และวิธีประมวลผลภาพ

ตารางที่ 4.1 ขนาดการยุบตัวสูงสุดและค่าความผิดพลาดของจุดทดสอบในแต่ละจุด

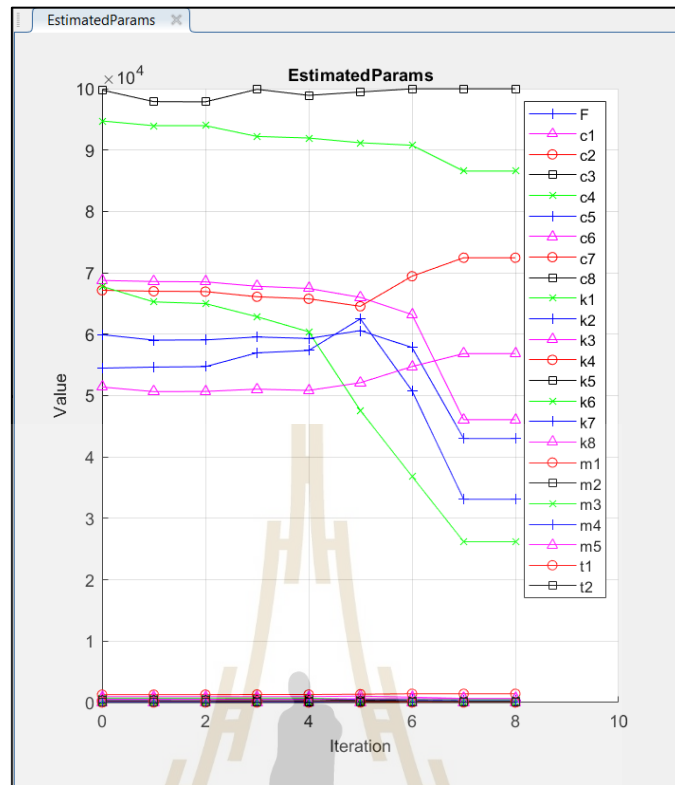
	ขนาดการยุบตัวสูงสุดของผนัง (มิลลิเมตร)				
	Top - left	Top - right	Middle	Bottom - left	Bottom - right
LVDT Transducer	3.085	3.042	4.725	3.113	3.189
Image Processing	3.171	3.028	4.728	3.100	3.122
Error (%)	2.763	0.459	0.044	0.403	2.091

#### 4.5 ประเมินค่าพารามิเตอร์สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

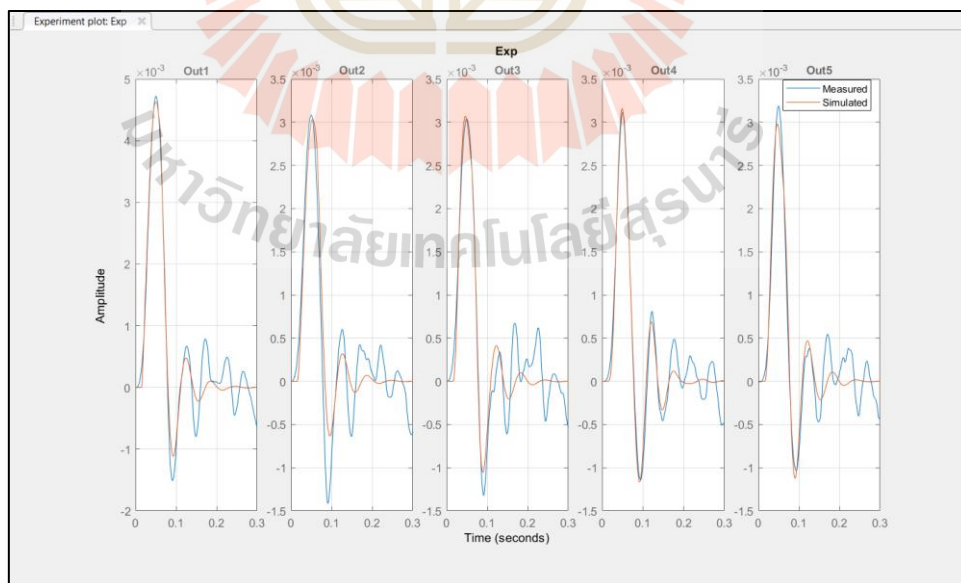
จากการนำข้อมูลจากการทดสอบไปทำการประเมินค่าพารามิเตอร์ด้วยการจำลองโมเดล ซึ่งในการจำลองโมเดลจะจำลองด้วยการประเมินค่าพารามิเตอร์ที่มีผลกับการสั่นทั้ง 5 จุดที่ได้ทดสอบจริง โดยโมเดลจะถูกสร้างขึ้นจากสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งโมเดลนั้นมีลักษณะดังรูปที่ 4.4 และเมื่อทำการนำพารามิเตอร์ต่าง ๆ ไปทำการประเมินค่าโดยในการประเมินค่าพารามิเตอร์นั้นจะทำการประเมินค่าที่ละรอบ ดังรูปที่ 4.5 เพื่อให้ทราบพารามิเตอร์ของแต่ละจุดอย่างแม่นยำ ซึ่งจากการประเมินค่าพารามิเตอร์พบว่า กราฟการสั่นที่ได้จากการประเมินค่าพารามิเตอร์มีค่าใกล้เคียงกับกราฟการสั่นที่ได้มาจากการทดสอบ ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.4 แผนภาพบล็อกสำหรับทำการประเมินค่าพารามิเตอร์



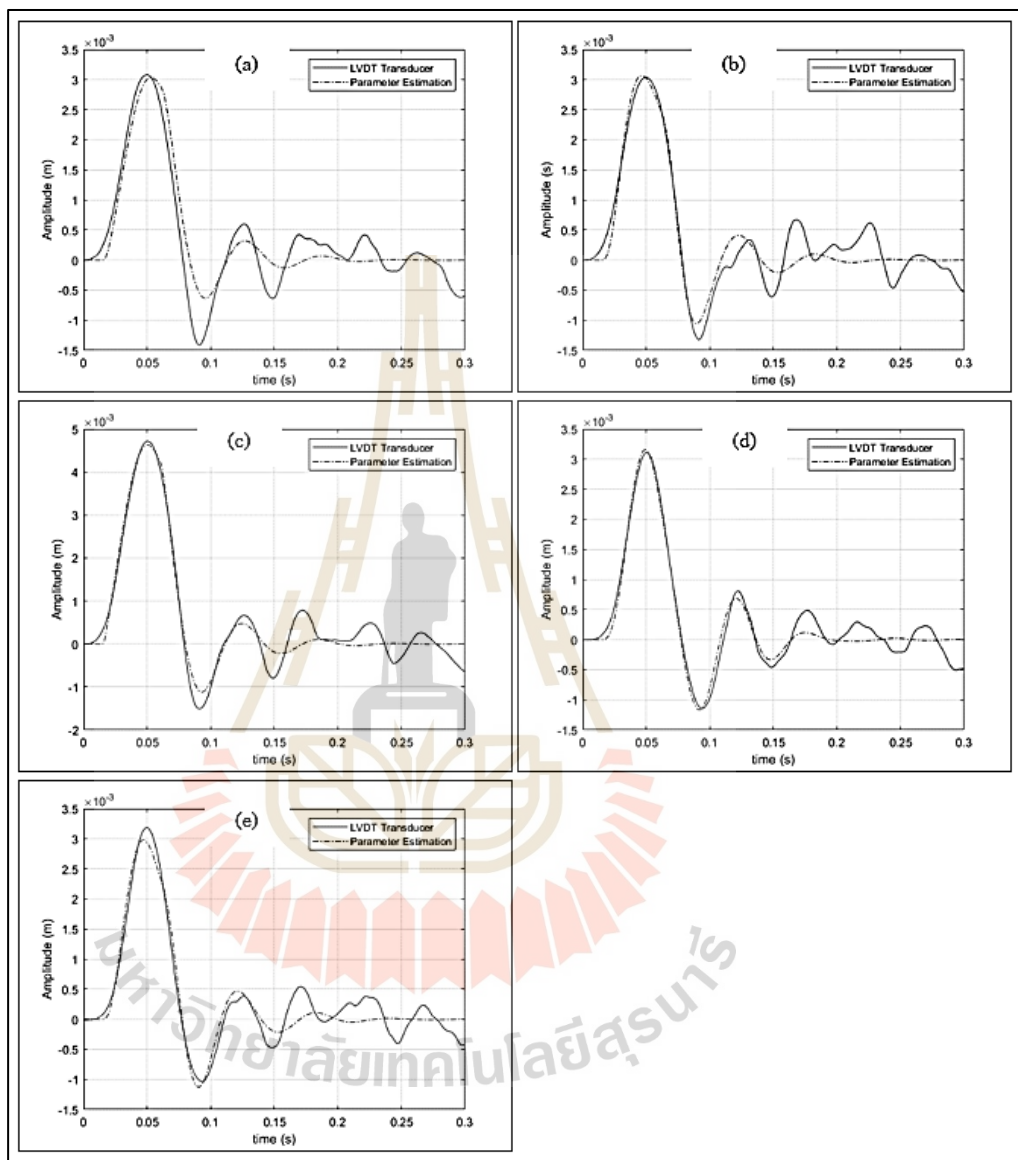
รูปที่ 4.5 พารามิเตอร์ที่ได้จากการประมาณค่า



รูปที่ 4.6 ขนาดการขยับตัวที่ได้จากการประมาณค่าพารามิเตอร์



#### 4.5.1 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับทดสอบด้วยการใช้ทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลงความเหนียวนำแบบเชิงเส้น



รูปที่ 4.7 ขนาดการยุบตัวของผนังที่ตำแหน่งต่าง ๆ โดยใช้ทรานสดิวเซอร์เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดและการประมาณค่าพารามิเตอร์

จากการนำเอาข้อมูลจากการทดสอบด้วยทรานสดิวเซอร์ไปประมาณค่าพารามิเตอร์พบว่าลักษณะกราฟที่ได้จากการประมาณค่าพารามิเตอร์นั้นมีขนาดการยุบตัวสูงสุดใกล้เคียงกับการทดสอบ ดังรูปที่ 4.7 ซึ่งที่ตำแหน่งบน-ซ้าย มีค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดการยุบตัวสูงสุด

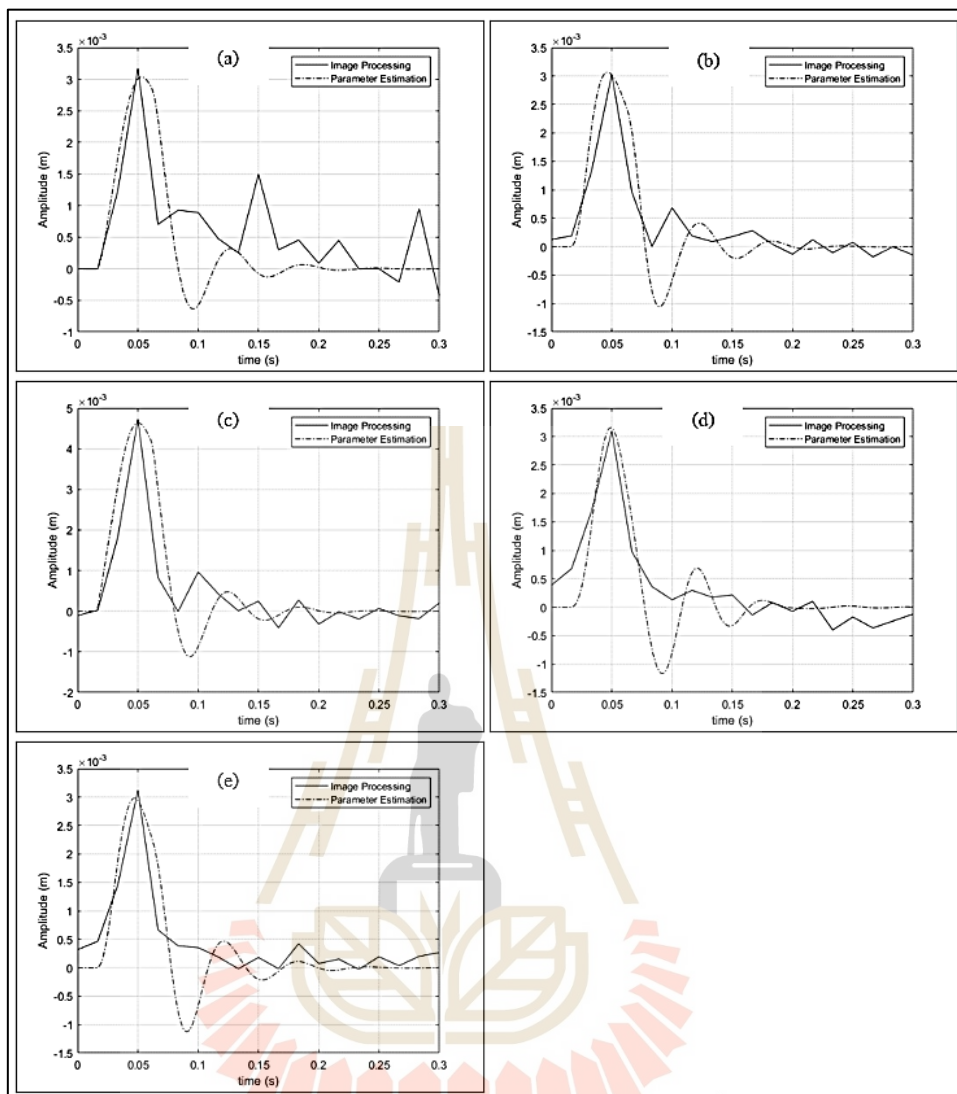
อยู่ที่ 16.706% ดังรูปที่ 4.7 (a) ที่ตำแหน่งบน-ขวา มีค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดการยุบตัวสูงสุด อยู่ที่ 0.391% ดังรูปที่ 4.7 (b) ที่ตำแหน่งตรงกลาง มีค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดการยุบตัวสูงสุด อยู่ที่ 1.386% ดังรูปที่ 4.7 (c) ที่ตำแหน่งล่าง-ซ้าย มีค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดการยุบตัวสูงสุด อยู่ที่ 3.308% ดังรูปที่ 4.7 (d) และที่ตำแหน่งล่าง-ขวา มีค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดการยุบตัว สูงสุดอยู่ที่ 7.963% ดังรูปที่ 4.7 (e) ดังตารางที่ 4.3 ซึ่งสามารถนำมาสร้างตารางเปรียบเทียบขนาด การยุบตัวสูงสุดและค่าความคลาดเคลื่อนดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ขนาดการยุบตัวสูงสุดและค่าความผิดพลาดจากการประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยข้อมูล จากการใช้ทรานสดิวเซอร์

	ขนาดการยุบตัวสูงสุดของผนัง (มิลลิเมตร)				
	Top - left	Top - right	Middle	Bottom - left	Bottom - right
LVDT Transducer	3.085	3.042	4.725	3.113	3.189
Parameter Estimation	3.035	3.068	4.635	3.158	2.98
Error (%)	1.635	0.852	1.915	1.447	6.552

#### 4.5.2 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับทดสอบด้วยวิธีการ ประมวลผลภาพ

จากการนำเอาข้อมูลจากการทดสอบด้วยวิธีการประมวลผลภาพไปประมาณ ค่าพารามิเตอร์พบว่า ลักษณะกราฟที่ได้จากการประมาณค่าพารามิเตอร์นั้นมีขนาดการยุบตัวสูงสุด ใกล้เคียงกับการทดสอบ ดังรูปที่ 4.8 ซึ่งที่ตำแหน่งบน-ซ้าย มีค่าความคลาดเคลื่อนของขนาด การยุบตัวสูงสุดอยู่ที่ 18.945% ดังรูปที่ 4.8 (a) ที่ตำแหน่งบน-ขวา มีค่าความคลาดเคลื่อนของขนาด การยุบตัวสูงสุดอยู่ที่ 0.854% ดังรูปที่ 4.8 (b) ที่ตำแหน่งตรงกลาง มีค่าความคลาดเคลื่อนของขนาด การยุบตัวสูงสุดอยู่ที่ 1.429% ดังรูปที่ 4.8 (c) ที่ตำแหน่งล่าง-ซ้าย มีค่าความคลาดเคลื่อนของขนาด การยุบตัวสูงสุดอยู่ที่ 2.916% ดังรูปที่ 4.8 (d) และที่ตำแหน่งล่าง-ขวา มีค่าความคลาดเคลื่อนของ ขนาดการยุบตัวสูงสุดอยู่ที่ 5.998% ดังรูปที่ 4.8 (e) ซึ่งสามารถนำมาสร้างตารางเปรียบเทียบขนาด การยุบตัวสูงสุดและค่าความคลาดเคลื่อนดังตารางที่ 4.3



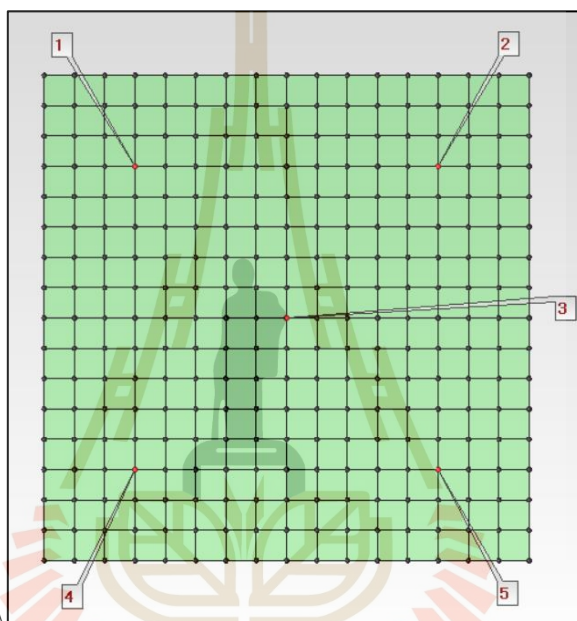
รูปที่ 4.8 ขนาดการขยับตัวที่ตำแหน่งต่าง ๆ จากวิธีการประมวลผลภาพ และการประมาณค่าพารามิเตอร์

ตารางที่ 4.3 ขนาดการขยับตัวสูงสุดและค่าความผิดพลาดจากการประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยข้อมูล จากวิธีการประมวลผลภาพ

	ขนาดการขยับตัวสูงสุดของผนัง (มิลลิเมตร)				
	Top - left	Top - right	Middle	Bottom - left	Bottom - right
Image Processing	3.171	3.028	4.728	3.100	3.122
Parameter Estimation	3.035	3.068	4.635	3.158	2.98
Error (%)	4.280	1.317	1.958	1.857	4.556

#### 4.6 ผลการทดสอบด้วยการใช้เทคนิครูปร่างการเบี่ยงเบนขณะปฏิบัติงานด้วยโปรแกรม ME' scopeVES

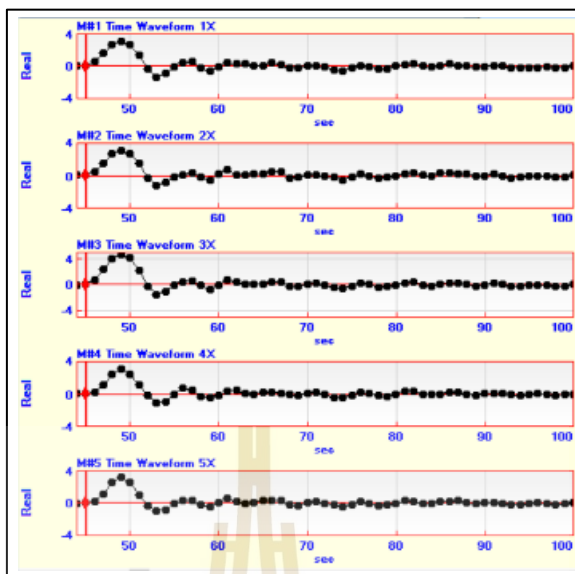
นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบไปสร้างแบบจำลองเพื่อจำลองพฤติกรรมการสั่นของผนังด้วยระเบียบวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ ด้วยการสร้างแบบจำลองที่มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมเหมือนกันลักษณะของผนัง โดยทำการตัดกริดเป็นจำนวน 249 จุด แล้วทำการใส่ข้อมูลขนาดการยุบตัวในแต่ละช่วงเวลาในจุดที่กำหนดไว้ ดังรูปที่ 4.9



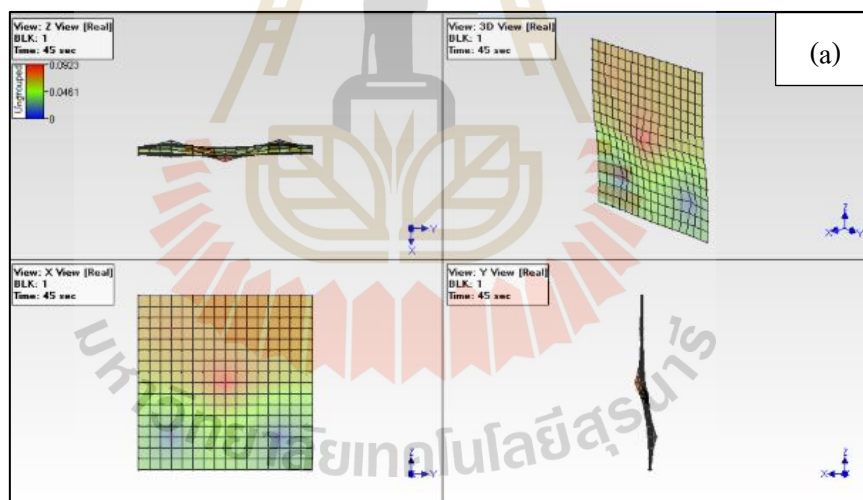
รูปที่ 4.9 การตัดกริดแบบจำลองในโปรแกรม ME' scopeVES

##### 4.6.1 เทคนิครูปร่างการเบี่ยงเบนขณะปฏิบัติงานด้วยข้อมูลที่ได้จากการใช้ทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลงความเหนียวนำแบบเชิงเส้น

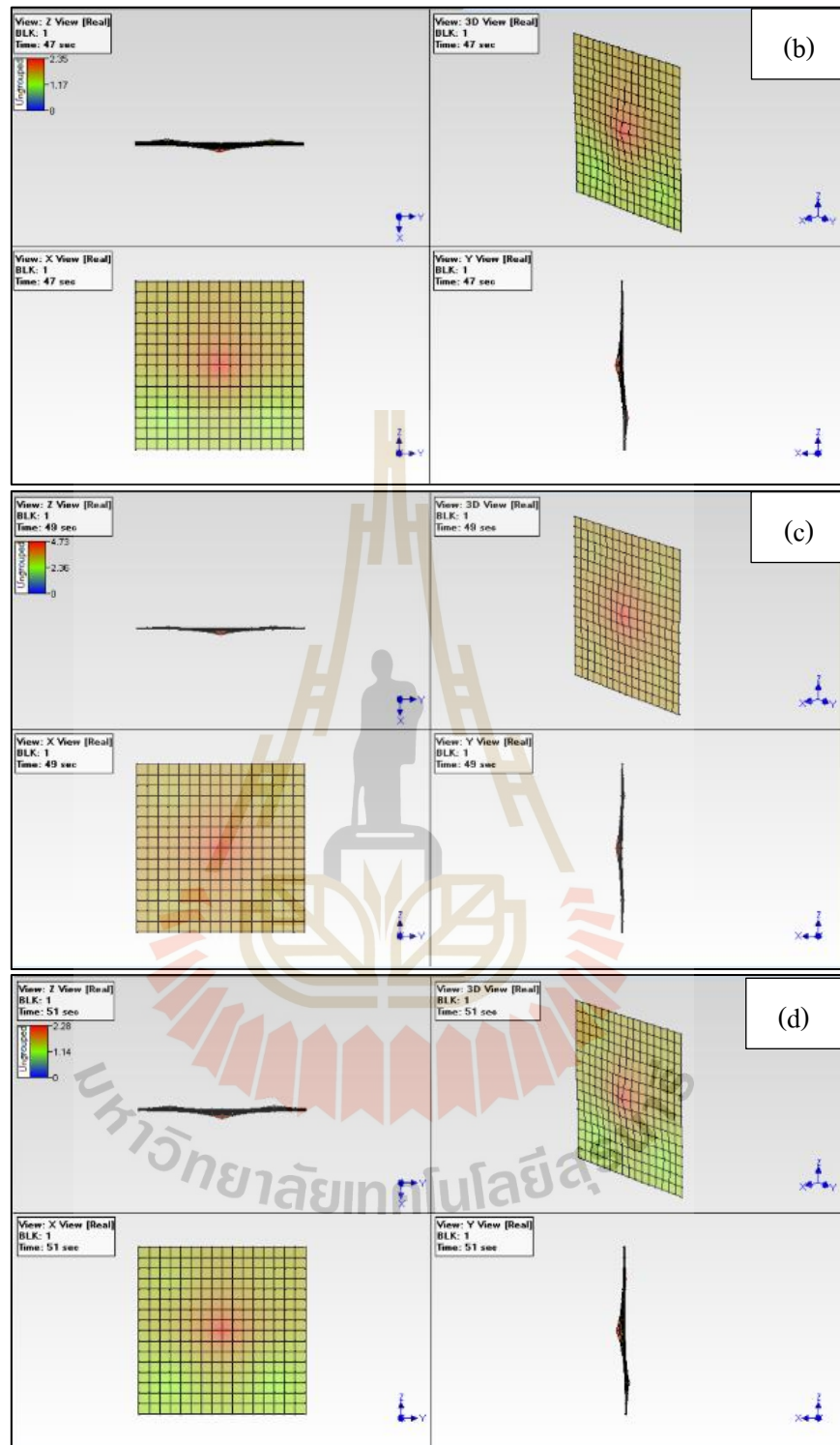
เมื่อนำเอาข้อมูลที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรงของผนังเมื่อถูกกระแทกด้วยวัสดุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่ด้วยการใช้ทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลงความเหนียวนำแบบเชิงเส้นเป็นอุปกรณ์ในการตรวจวัดไปจำลองลักษณะการสั่นด้วยโปรแกรม โดยการนำข้อมูลเข้าในโปรแกรมจะแสดงกราฟจำนวนคาบเวลาในการจำลองด้วยเทคนิคเบี่ยงเบนรูปร่างขณะปฏิบัติงานดังรูปที่ 4.10 และจากการจำลองลักษณะการสั่นจะได้ผลการสั่น ซึ่งจากรูปที่ 4.11 (a) ถึงรูปที่ 4.11 (f) คือ การสั่นในช่วงคาบเวลาที่ 1, 3, 5, 7, 9 และ 11 ตามลำดับ โดยขนาดการยุบตัวจะมากหรือน้อยจะแสดงด้วยแถบสีบนแบบจำลอง



รูปที่ 4.10 จำนวนคาบเวลาในการจำลอง โดยการใช้ทรานสดิวเซอร์เป็นอุปกรณ์ตรวจวัด

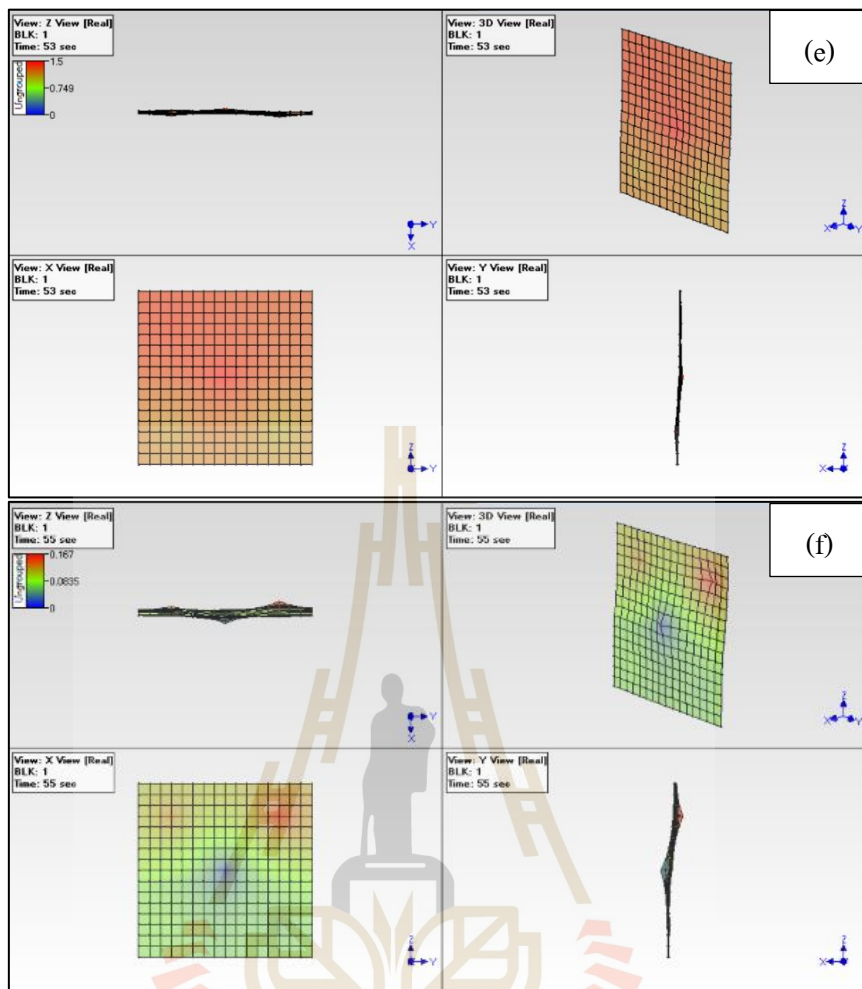


รูปที่ 4.11 ลักษณะการสั่นของผนังด้วยเทคนิคการสร้างการเบี่ยงเบนขณะปฏิบัติงานจากการใช้ทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลงความเหนียวแบบเชิงเส้น



รูปที่ 4.11 ลักษณะการสั่นของผนังด้วยเทคนิคการเรียงเบนขณะปฏิบัติงานจากการใช้ทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลงความเหนียวแบบเชิงเส้น (ต่อ)

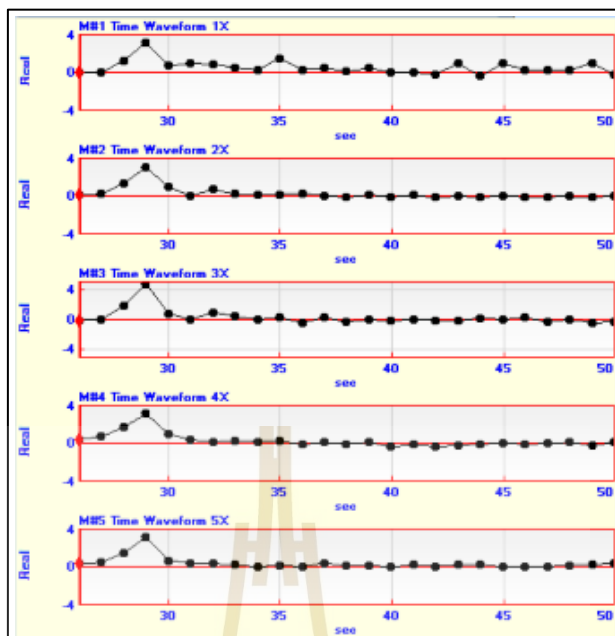




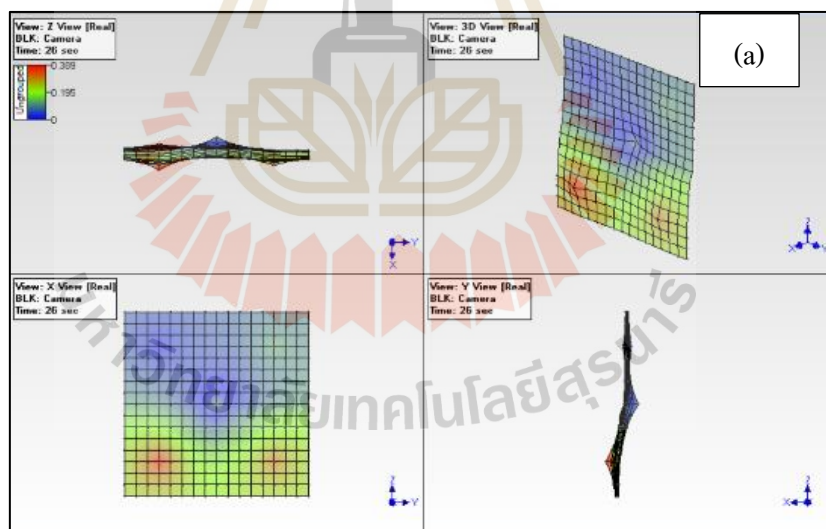
รูปที่ 4.11 ลักษณะการสั้นของผนังด้วยเทคนิคการเรียงเบนขณะปฏิบัติงานจากการใช้ทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลงความเหนียวแบบเชิงเส้น (ต่อ)

#### 4.6.2 เทคนิคการเรียงเบนขณะปฏิบัติงานด้วยข้อมูลที่ได้จากการใช้วิธีการประมวลผลภาพ

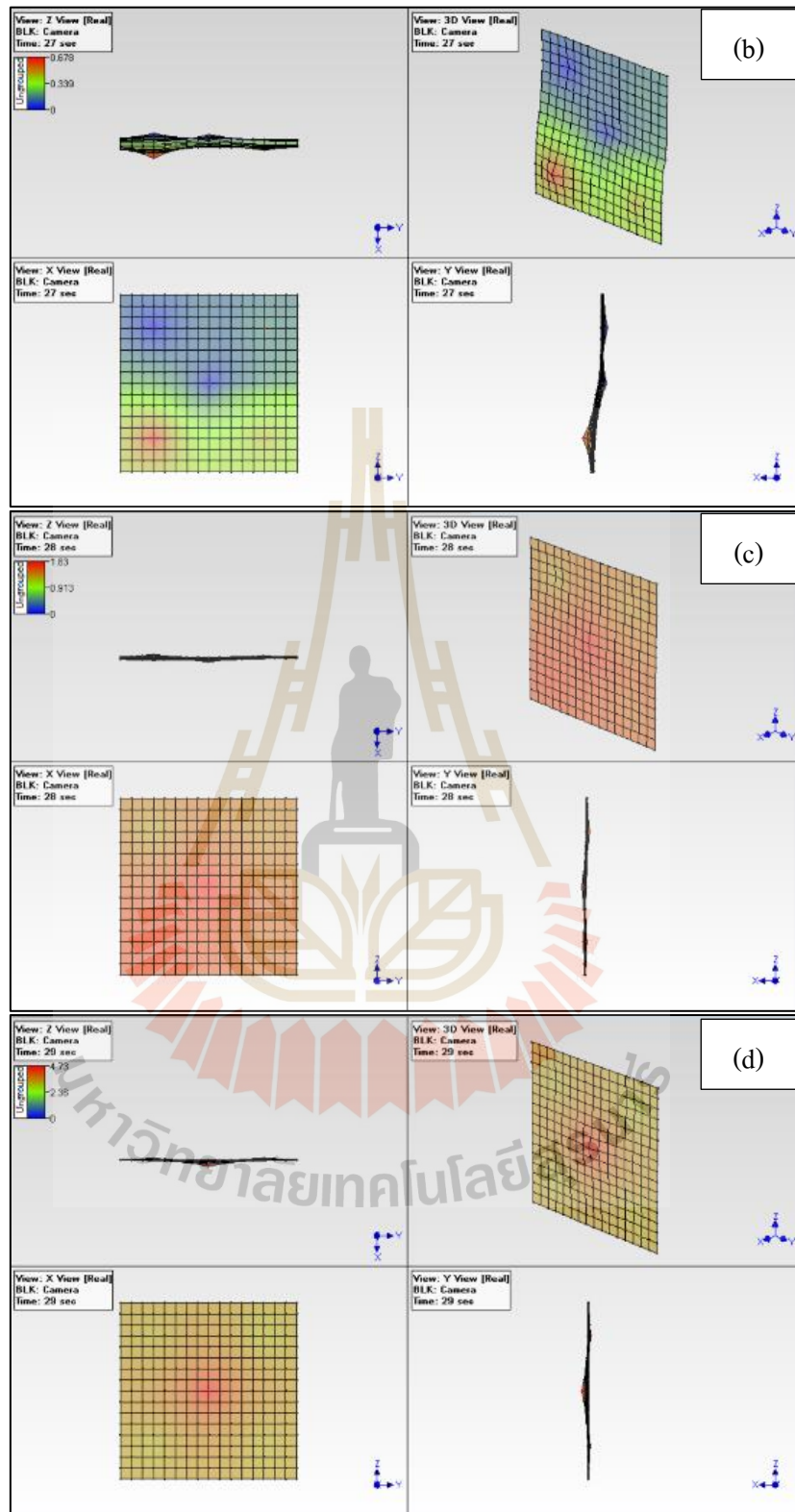
เมื่อนำเอาข้อมูลที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรงของผนังเมื่อถูกกระแทกด้วยวัตถุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่ด้วยวิธีการประมวลผลภาพไปจำลองลักษณะการสั้นด้วยโปรแกรม โดยการนำข้อมูลเข้าในโปรแกรมจะแสดงกราฟจำนวนคาบเวลาในการจำลองด้วยเทคนิคเรียงเบนรูปร่างขณะปฏิบัติงาน ดังรูปที่ 4.12 และจากการจำลองลักษณะการสั้นจะได้ผลการสั้น ซึ่งจากรูปที่ 4.13 (a) ถึงรูปที่ 4.13 (f) คือ การสั้นในช่วงคาบเวลาที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ตามลำดับ



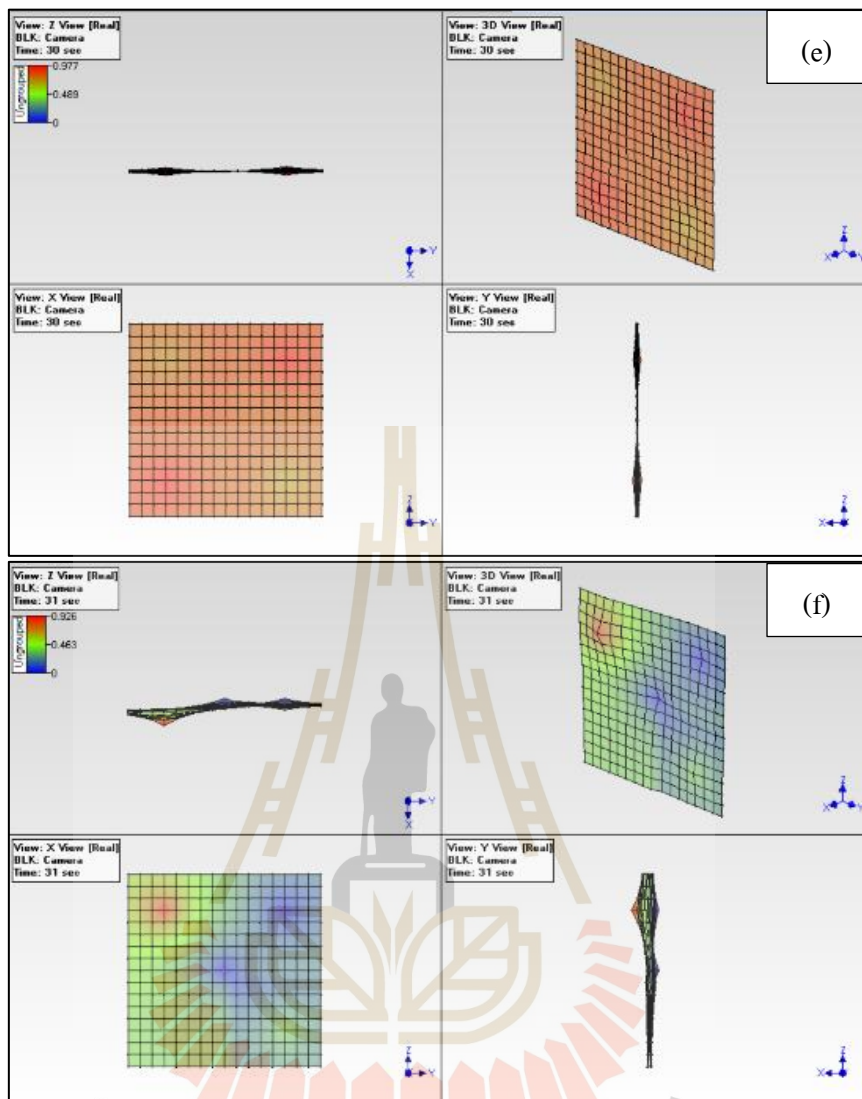
รูปที่ 4.12 จำนวนคาบเวลาในการจำลองด้วยวิธีประมวลผลภาพ



รูปที่ 4.13 ลักษณะการสันของผนังด้วยเทคนิคการสร้างการเบี่ยงเบนขณะปฏิบัติงาน จากวิธีการประมวลผลภาพ



รูปที่ 4.13 ลักษณะการสั้นของผนังด้วยเทคนิคครูปรงการเบี่ยงเบนขณะปฏิบัติงาน  
จากวิธีการประมวลผลภาพ (ต่อ)

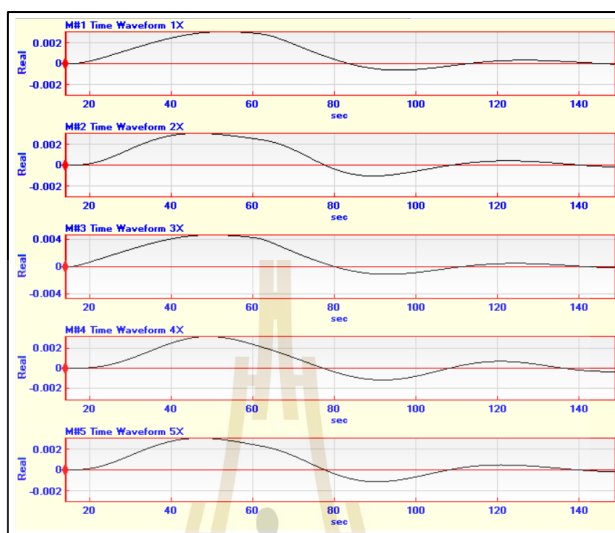


รูปที่ 4.13 ลักษณะการสั้นของผนังด้วยเทคนิคการเปียงเบนขณะปฏิบัติงาน จากวิธีการประมวลผลภาพ (ต่อ)

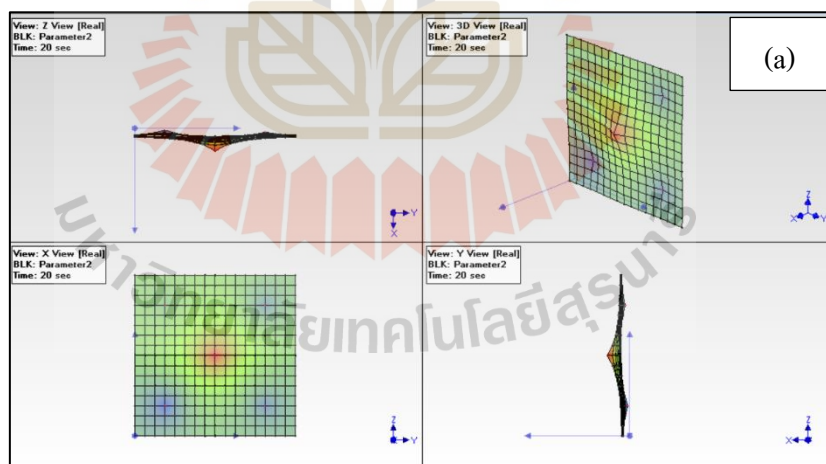
#### 4.6.3 เทคนิคการเปียงเบนขณะปฏิบัติงานด้วยข้อมูลที่ได้จากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และประมาณค่าพารามิเตอร์

เมื่อนำเอาข้อมูลที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรงของผนังเมื่อถูกกระแทกด้วยวัตถุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่ด้วยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และประมาณค่าพารามิเตอร์ไปจำลองลักษณะการสั้นด้วยโปรแกรม โดยการนำข้อมูลเข้าในโปรแกรมจะแสดงกราฟจำนวนคาบเวลาในการจำลองด้วยเทคนิคเปียงเบนรูปร่างขณะปฏิบัติงาน ดังรูปที่ 4.14 และจากการจำลอง

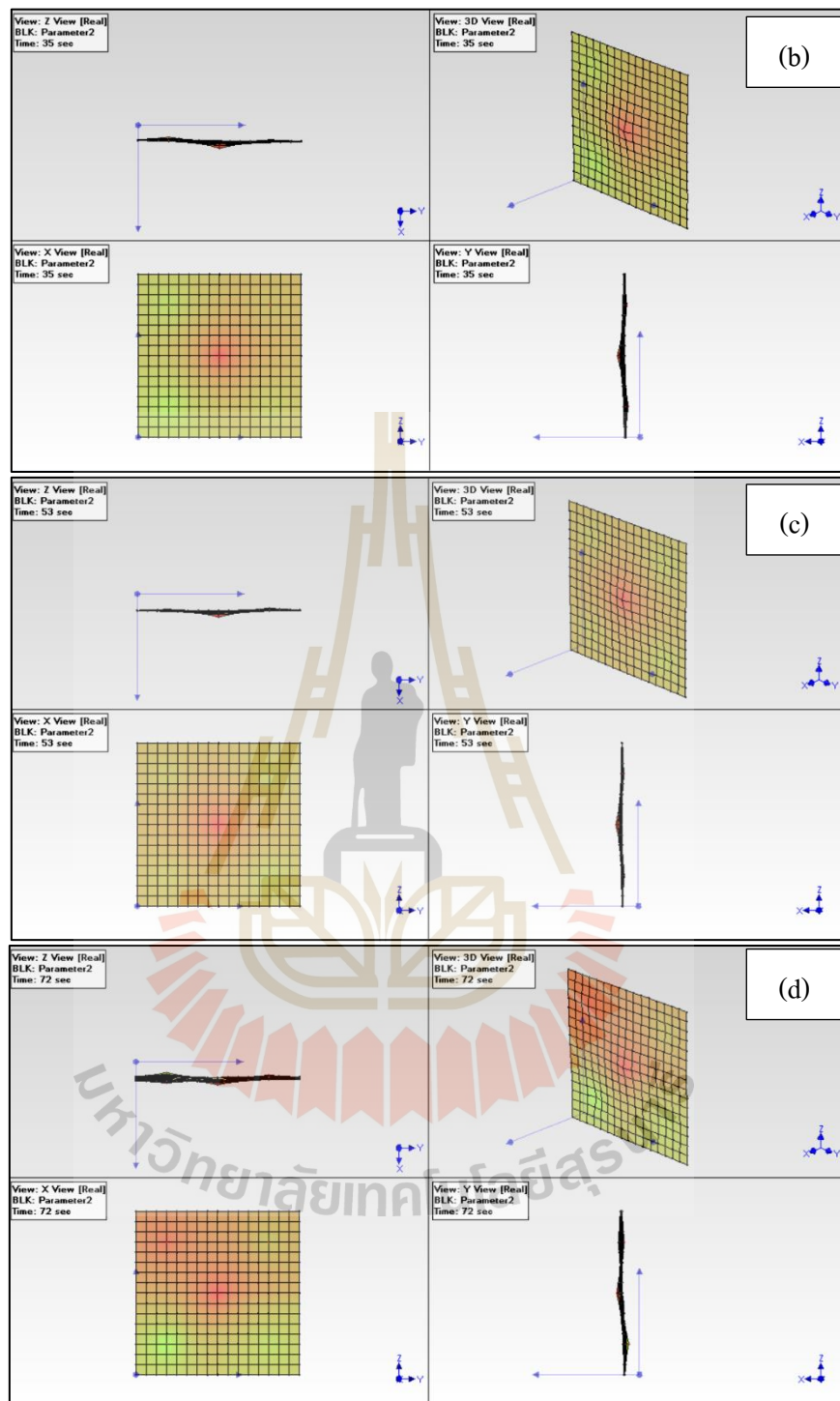
ลักษณะการสั่นจะแสดงผลการสั่น ซึ่งจากรูปที่ 4.15 (a) ถึงรูปที่ 4.15 (f) คือ การสั่นในช่วงคาบเวลาที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ตามลำดับ



รูปที่ 4.14 จำนวนคาบเวลาในการจำลองด้วยเทคนิคเบี่ยงเบนรูปร่างขณะปฏิบัติงาน

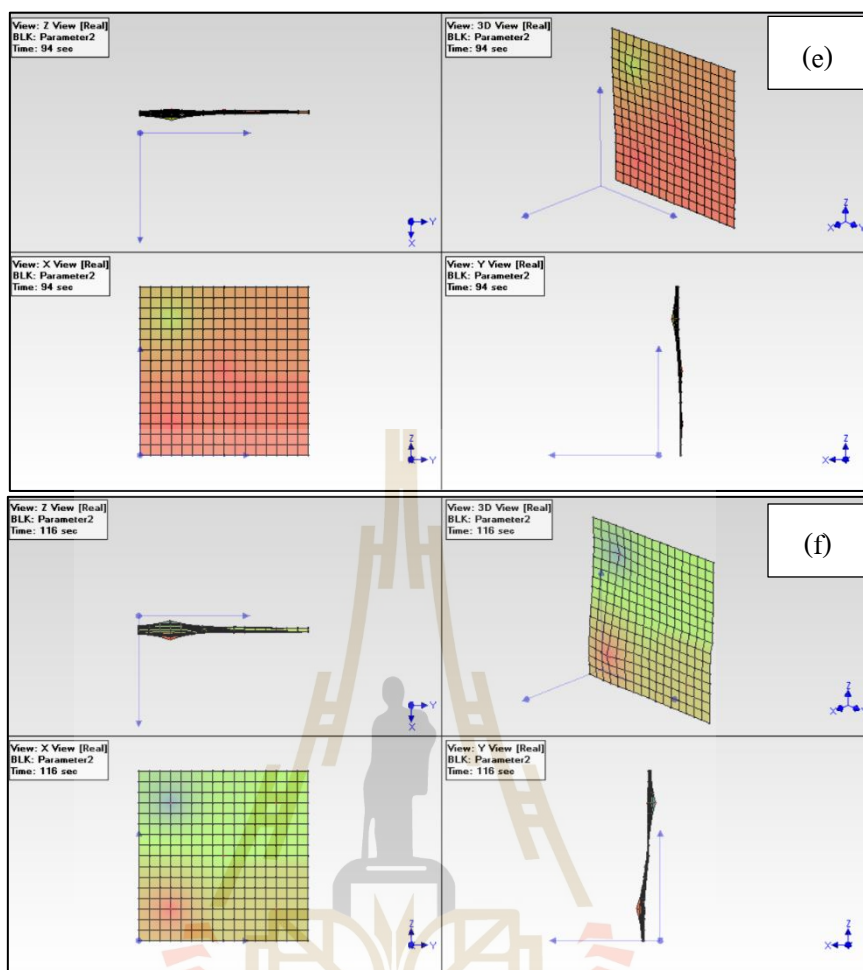


รูปที่ 4.15 ลักษณะการสั่นของผนังด้วยเทคนิครูปร่างการเบี่ยงเบนขณะปฏิบัติงานจากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และประมาณค่าพารามิเตอร์



รูปที่ 4.15 ลักษณะการสั้นของผนังด้วยเทคนิครูปร่างการเบี่ยงเบนขณะปฏิบัติงานจากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และประมาณค่าพารามิเตอร์ (ต่อ)





รูปที่ 4.15 ลักษณะการสั้นของผนังด้วยเทคนิครูปร่างการเบี่ยงเบนขณะปฏิบัติงานจากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และประมาณค่าพารามิเตอร์ (ต่อ)

#### 4.7 สรุปการดำเนินการวิจัย

จากการนำวิธีประมวลผลภาพมาประยุกต์ใช้โดยการนำเอาภาพในช่วงเวลาที่ผนังถูกกระแทกมาวิเคราะห์ด้วยภาษาไพธอนที่ถูกเขียนด้วยโปรแกรม Visual Studio Code เพื่อตรวจสอบขนาดการยุบสูงสุดของแต่ละจุด และเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนกับขนาดการยุบตัวสูงสุดในการทดสอบด้วยการใช้ทรานสดิวเซอร์ ซึ่งในการทดสอบมีการกำหนดจุดวัดจำนวน 5 จุด โดยแบ่งเป็นจุดที่ตำแหน่งบน-ซ้าย ตำแหน่งบน-ขวา ตำแหน่งตรงกลาง ตำแหน่งล่าง-ซ้าย และตำแหน่งล่าง-ขวา โดยผลการทดสอบพบว่าที่ตำแหน่งบน-ซ้ายมีความคลาดเคลื่อนมากที่สุดคือ 2.763% และกราฟพฤติกรรมการสั้นของการใช้วิธีประมวลผลภาพจะมีลักษณะที่ไม่เป็นรูปแบบเนื่องมาจากอุปกรณ์ที่ใช้เก็บข้อมูลมีความสามารถในการเก็บข้อมูลน้อยเกินไป และอาจมีความถี่ตรงกับความถี่ของแสงไฟที่ได้ใช้ในสถานที่ทดสอบ จากนั้นได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ของระบบที่ทำการทดสอบด้วยการสร้างแผนภาพบล็อกด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อลดเวลาในการทดสอบหากมีการเพิ่มแรงที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งจากการประมาณค่าพารามิเตอร์พบว่าเมื่อนำผลการทดสอบด้วยการใช้ทรานสดิวเซอร์และการทดสอบด้วยวิธีการประมวลผลภาพมาเปรียบเทียบกับค่าพารามิเตอร์จะมีความคลาดเคลื่อนมากที่สุดที่ตำแหน่งบน-ซ้าย คือ 16.706% และ 18.945% และส่วนสุดท้ายคือเทคนิคการเรียงเบนขณะปฏิบัติงานจะเข้ามาช่วยในการจำลองพฤติกรรมการสั้นของผนังจากการเก็บข้อมูล เนื่องจากการทดสอบด้วยการใช้ทรานสดิวเซอร์เป็นอุปกรณ์ตรวจวัด วิธีการประมวลผลภาพ และการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะสามารถทราบได้เพียงขนาดการยุบตัวในแต่ละช่วงเวลาซึ่งเป็นการวิเคราะห์แบบสถิตจึงได้นำเอาเทคนิคการเรียงเบนขณะปฏิบัติงาน เข้ามาเพื่อช่วยในการวิเคราะห์แบบพลศาสตร์ ดังนั้นวิธีการประมวลผลภาพแสดงให้เห็นว่ามีประสิทธิภาพในการหาขนาดการยุบตัวสูงสุดของผนังได้และมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อย



## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

การทดสอบความแข็งแรงของผนังเมื่อถูกกระแทกด้วยวัสดุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่ในงานวิจัยนี้ จะทำการอ้างอิงหรือเทียบเคียงจากมาตรฐาน BS 5234 ที่เป็นมาตรฐานในการทดสอบความแข็งแรงของผนัง โดยใช้ทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลงความเหนียวนำแบบเชิงเส้นเป็นอุปกรณ์ในการตรวจวัดและเก็บค่า ซึ่งเมื่อทรานสดิวเซอร์ได้รับแรงกระแทกซ้ำ ๆ จะส่งผลให้ทรานสดิวเซอร์เกิดความเสียหายและอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการเก็บข้อมูล จึงจำเป็นต้องสั่งซื้อทรานสดิวเซอร์ใหม่ที่มีราคาสูงและใช้เวลาในการขนส่งเป็นเวลานาน ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำวิธีการประมวลผลภาพ การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และเทคนิคการปรับปรุงการเบี่ยงเบนขณะปฏิบัติงานมาประยุกต์ใช้เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการจัดซื้ออุปกรณ์และการทดสอบในครั้งถัดไป โดยวิธีการประมวลผลภาพจะนำภาพมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Visual Studio Code ที่ถูกเขียนด้วยภาษาไพธอน ซึ่งในการทำงานของโปรแกรมจะคำนวณหาระยะห่างระหว่างกล้องกับผนัง โดยการกำหนดระยะห่างเริ่มต้นระหว่างกล้องกับผนังจากนั้นโปรแกรมจะคำนวณพิกเซลของภาพในแต่ละภาพออกมาเป็นระยะห่างแล้วจึงนำผลการวิเคราะห์ไปเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนขนาดการยุบตัวสูงสุดเมื่อใช้ทรานสดิวเซอร์เป็นอุปกรณ์ในการตรวจวัด จากนั้นนำสมการความสัมพันธ์ของระบบมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อพฤติกรรมการณ์ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink โดยการประมาณค่าพารามิเตอร์จะช่วยให้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้นและส่งผลให้ลดเวลาและการทดสอบในครั้งถัดไป ซึ่งการทดสอบความแข็งแรงของผนังเมื่อถูกกระแทกด้วยวัสดุอ่อนนุ่มขนาดใหญ่จากการใช้ทรานสดิวเซอร์เป็นอุปกรณ์ตรวจวัด วิธีการประมวลผลภาพ และการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไม่สามารถสังเกตเห็นพฤติกรรมการณ์ของผนังได้จึงได้นำเทคนิคการปรับปรุงการเบี่ยงเบนขณะปฏิบัติงานมาประยุกต์ใช้เพื่อให้สามารถเห็นพฤติกรรมการณ์ของผนังในแต่ละช่วงเวลาได้ โดยจากการทดสอบสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ผลการทดสอบด้วยวิธีการประมวลผลภาพเพื่อหาขนาดการยุบตัวสูงสุดของผนัง โดยใช้เปรียบเทียบกับผลทดสอบด้วยการใช้ทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลงความเหนียวนำแบบเชิงเส้น

พบว่า จุดบนผนังที่ตำแหน่งบน-ซ้าย มีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 2.762% ที่ตำแหน่งบน-ขวา มีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.459% ที่ตำแหน่งตรงกลาง มีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.043% ที่ตำแหน่งล่าง-ซ้าย มีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.403% และที่ตำแหน่งล่าง-ขวา มีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 2.09%

2. ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะนำเอาสมการความสัมพันธ์ของระบบมาสร้างแผนภาพบล็อกด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink จากนั้นจะทำการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้มีค่าใกล้เคียงกับระบบจริง เพื่อช่วยให้ลดเวลาและการทดสอบจริงในครั้งถัดไป ซึ่งจากการประมาณค่าพารามิเตอร์ พบว่าแผนภาพบล็อกของระบบที่ทำการประมาณค่าพารามิเตอร์มีความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 6.554% เมื่อเทียบกับข้อมูลที่ได้จากใช้ทรานสดิวเซอร์และมีความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 4.548% เมื่อเทียบกับข้อมูลที่ได้จากวิธีการประมวลผลภาพ

3. ในการทดสอบด้วยการใช้ทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลงความเหนียวนำแบบเชิงเส้นเป็นอุปกรณ์ในการตรวจวัด และวิธีประมวลผลภาพสามารถบอกได้แค่ขนาดการยุบตัวในแต่ละช่วงเวลา แต่ไม่สามารถเห็นลักษณะการสันของผนังได้ จึงใช้เทคนิครูปร่างการเบี่ยงเบนขณะปฏิบัติงานในการสร้างแบบจำลองของผนังทดสอบด้วยโปรแกรม ME'scopeVES เพื่อให้เห็นลักษณะและพฤติกรรมการสันของผนัง ซึ่งจากผลการจำลองสามารถเห็นลักษณะการยุบตัวในแต่ละช่วงเวลาได้ โดยขนาดการยุบตัวจะมากหรือน้อยจะสังเกตได้จากแถบสีที่ได้ถูกแสดงในโปรแกรม

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ใช้กล้องที่มีความละเอียดและอัตราเฟรมเรตมากขึ้น เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีจำนวนมากยิ่งขึ้น
2. เพิ่มการทดสอบด้วยการเพิ่มแรงที่กระทำกับผนัง เพื่อให้ผลลัพธ์มีความแม่นยำมากขึ้น
3. เพิ่มจำนวนจุดที่ใช้ในการทดสอบ เพื่อให้การสร้างแบบจำลองการยุบตัวของผนังมีความสมจริงมากขึ้น
4. ควบคุมปริมาณแสงในการทดสอบให้มีค่าคงที่เพื่อลดความผิดพลาดของพิกเซลในภาพ

## รายการอ้างอิง

- ประพันธ์ ภาที วัลญญ และสินชัย ชินวรรตน์. (2550). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบควบคุมแบบวงปิด. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21, ชลบุรี, 17-19 ตุลาคม 2550.
- ปิยคนัย ภาชนะพรรณณ์. การตรวจจับน้ำหนักโดยใช้โหลดเซลล์ (Load Cell). สืบค้นจาก <http://www.ecpe.nu.ac.th>.
- วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ. (2556). การควบคุมระบบพลศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อำนวยการ มีทรัพย์ และอรนุช ประดับทอง. (2556). สืบค้นจาก <https://administer.pi.ac.th>.
- โรงพยาบาลเลิดสิน. (2555). การพยาบาลผู้ป่วยที่ได้รับการดึงถ่วงน้ำหนัก. การพยาบาลออร์โธปิดิกส์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: บริษัท สหมิตรพรินต์ติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด. สืบค้นจาก <http://www.lerdsin.go.th>.
- โรงพยาบาลเลิดสิน. (2559). การดูแลและป้องกันการหักงอในผู้ป่วยโรคกระดูกพรุน. วารสารกรมการแพทย์. ฉบับที่ 5. กันยายน-ตุลาคม 2559. สืบค้นจาก <http://www.dms.moph.go.th>.
- Baoji Ma and Sun Dong. (2010). The modeling of tension control system in optical fiber automatic winding. **2010 International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering, Wuhan**, pp. 2231-2234.
- F. Meng, S. Liu and K. Liu. (2020). Design of an Optimal Fractional Order PID for Constant Tension Control System. **IEEE Access**, vol. 8, pp. 58933-58939, 2020.
- H. Huang, J. Xu, K. Sun, L. Deng and C. Huang. (2020). Design and Analysis of Tension Control System for Transformer Insulation Layer Winding. **IEEE Access**, vol. 8, pp. 95068-95081, 2020.
- Yan, M.-T., & Huang, P.-H. (2004). Accuracy improvement of wire-EDM by real-time wire tension control. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, 44(7), 807-814.
- Zhengkang Xie, Bing Liang, Xingsong Wang and Mengqian Tian. (2016). Design of fracture reduction device for distal radius. **2016 23<sup>rd</sup> International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP)**.

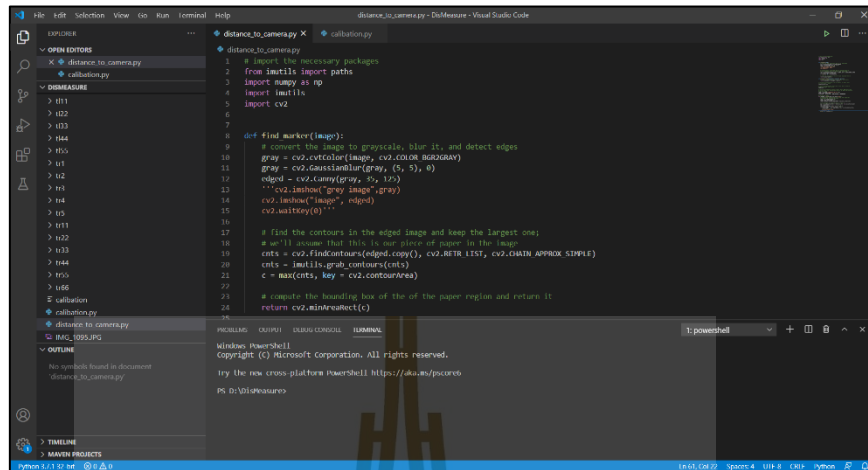
ภาคผนวก ก

การใช้โปรแกรมเพื่อปรับภาพเป็นภาพระดับสีเทา เบลอภาพ และหาขอบภาพ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

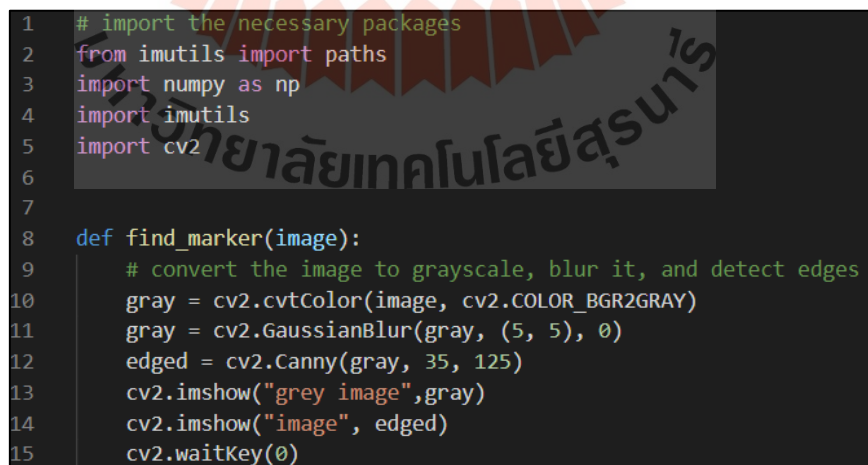


- โปรแกรม Visual Studio Code



รูปที่ ก.1 โปรแกรม Visual Studio Code เพื่อปรับภาพเป็นระดับสีเทา เบลอภาพ และหาขอบภาพ

- ขั้นตอนการปรับภาพเป็นระดับสีเทา เบลอภาพ และหาขอบภาพ
  - เปิดโปรแกรมขึ้นมาเพื่อทำการเขียนโค้ด จากนั้นทำการเขียนโค้ด import cv2 เป็นไลบรารีสำหรับเทคนิคทางด้านรูปภาพโดยเฉพาะ
  - การปรับภาพเป็นภาพระดับสีเทา เบลอภาพ และหาขอบภาพ แสดงดังรูปที่ ก.2



รูปที่ ก.2 โค้ดในภาพเป็นภาพระดับสีเทา เบลอภาพ และหาขอบภาพ

- เมื่อได้โค้ดจากส่วนด้านบนแล้ว จากนั้นจะเป็นการนำเข้ารูปภาพของ Original เพื่อทำการปรับความสว่างด้วยโค้ด cv2.imread
- เมื่อได้รูปภาพเข้ามาแล้วทำการปรับภาพเป็นภาพระดับสีเทาด้วยคำสั่ง cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR\_BGR2GRAY), ทำการเบลอภาพด้วยคำสั่ง cv2.GaussianBlur(gray, (5, 5),0) และการหาขอบภาพด้วยคำสั่ง cv2.Canny(gray, 35, 125)
- จากนั้นทำการแสดงภาพที่ถูกเปลี่ยนเป็นภาพระดับสีเทาด้วยคำสั่ง cv2.imshow("grey image",gray) ซึ่งผลของการปรับภาพเป็นภาพระดับสีเทาจะแสดงดังรูปที่ ก.4
- จากนั้นทำการแสดงภาพที่ถูกจำกัดขอบภาพด้วยคำสั่ง cv2.imshow("grey image",edge) ซึ่งผลของการปรับภาพเป็นภาพระดับสีเทาจะแสดงดังรูปที่ ก.5

```

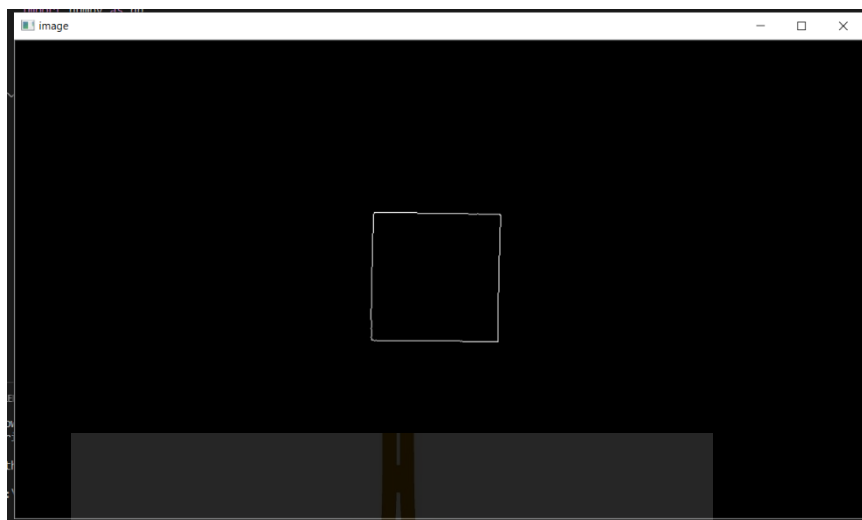
38 # load the first image that contains an object that is KNOWN TO BE 2 feet
39 # from our camera, then find the paper marker in the image, and initialize
40 # the focal length
41 image = cv2.imread("br55/IMG_3434_001.jpg",255)
42 marker = find_marker(image)
43 focalLength = (marker[1][0] * KNOWN_DISTANCE) / KNOWN_WIDTH

```

รูปที่ ก.3 ขั้นตอนการนำข้อมูลเข้า



รูปที่ ก.4 ผลการปรับภาพเป็นภาพระดับสีเทา



รูปที่ ก.5 ผลการจำกัดขอบภาพ



ภาคผนวก ข

โปรแกรมสำหรับการคำนวณระยะห่างระหว่างวัตถุกับกล้อง  
ด้วยโปรแกรม Visual Studio Code

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

- การคำนวณระยะห่างระหว่างวัตถุกับกล้องด้วยโปรแกรม Visual Studio Code
  - ใช้ฟังก์ชัน `def distance_to_camera(knowWidth, focalLength, perWidth):` เพื่อประกาศตัวแปรและรอรับค่าจากส่วนอื่นของโค้ด คำนวณค่าตัวแปรต่างๆจากการรับค่าด้วยคำสั่ง `return (knowWidth * focalLength) / perWidth` จากนั้นกำหนดระยะห่างระหว่างวัตถุกับกล้องด้วยการประกาศตัวแปร `KNOWN_DISTANCE = 6.0` และความกว้างของสติ๊กเกอร์ที่ติดกับผนังเพื่อเป็นการกำหนดขอบเขตการคำนวณของโปรแกรมด้วยคำสั่ง `KNOWN_WIDTH = 1.0` จากนั้นทำการนำรูปภาพเข้ามาคำนวณด้วยคำสั่ง `cv2.imread` และทำการเขียนคำสั่ง `focalLength = (marker[1][0] * KNOWN_DISTANCE) / KNOWN_WIDTH` เพื่อนำข้อมูลกลับคำนวณต่อ ดังรูปที่ ข.1

```

26 def distance_to_camera(knowWidth, focalLength, perWidth):
27     # compute and return the distance from the maker to the camera
28     return (knowWidth * focalLength) / perWidth
29
30 # initialize the known distance from the camera to the object, which
31 # in this case is 6 inches
32 KNOWN_DISTANCE = 6.0
33
34 # initialize the known object width, which in this case, the piece of
35 # paper is 1 inches wide (2.54 cm)
36 KNOWN_WIDTH = 1.0
37
38 # load the first image that contains an object that is KNOWN TO BE 2 feet
39 # from our camera, then find the paper marker in the image, and initialize
40 # the focal length
41 image = cv2.imread("br55/IMG_3434 001.jpg",255)
42 marker = find_marker(image)
43 focalLength = (marker[1][0] * KNOWN_DISTANCE) / KNOWN_WIDTH

```

รูปที่ ข.1 โค้ดสำหรับการคำนวณระยะห่างระหว่างวัตถุกับกล้อง

- ทำการนำรูปทั้งหมดของจุดนั้น ๆ มาจัดเรียงตามลำดับด้วยคำสั่ง `for imagePath in sorted(paths.list_images("br55")):` จากนั้นทำการนำรูปภาพเข้าสู่โปรแกรมเพื่อทำการคำนวณด้วยคำสั่ง `image = cv2.imread(imagePath,255)` และทำการสร้างขอบของรูปด้วยคำสั่ง `box = cv2.cv.BoxPoints(marker)` แล้วทำการคำนวณระยะห่างตามโค้ด ดังรูปที่ ข.2 โดยจะนำรูปแรกเป็นรูปอ้างอิง ดังรูปที่ ข.3 ซึ่งโปรแกรมจะทำการคำนวณระยะห่างระหว่างวัตถุกับกล้องจากรูปอ้างอิงและจะแสดงระยะห่างในหน่วยมิลลิเมตร ดังรูปที่ ข.4

```

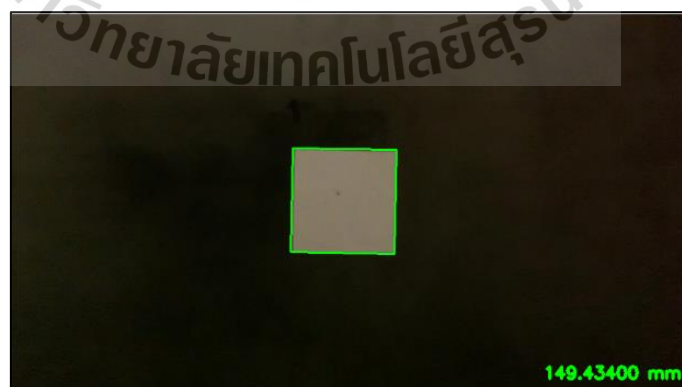
45 # loop over the images
46 for imagePath in sorted(paths.list_images("br55")):
47     # load the image, find the marker in the image, then compute the
48     # distance to the marker from the camera
49     image = cv2.imread(imagePath,255)
50     marker = find_marker(image)
51     inches = distance_to_camera(KNOWN_WIDTH, focalLength, marker[1][0])
52
53     # draw a bounding box around the image and display it
54     box = cv2.cv.BoxPoints(marker) if imutils.is_cv2() else cv2.boxPoints(marker)
55     box = np.int0(box)
56     cv2.drawContours(image, [box], -1, (0, 255, 0), 2)
57     cv2.putText(image, "%.5f mm" % (inches * 25.4) ,
58               (image.shape[1] - 200, image.shape[0] - 20), cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX,
59               0.8, (0, 255, 0), 3)
60     cv2.imshow("image", image)
61     cv2.waitKey(0)
62     print("%.5f"%(inches*25.4))

```

รูปที่ ข.2 โค้ดสำหรับนำรูปเข้าโปรแกรมและแสดงระยะห่างระหว่างวัตถุกับกล้อง



รูปที่ ข.3 รูปอ้างอิง



รูปที่ ข.4 รูปที่ผ่านการคำนวณโดยอ้างอิงจากรูปแรก

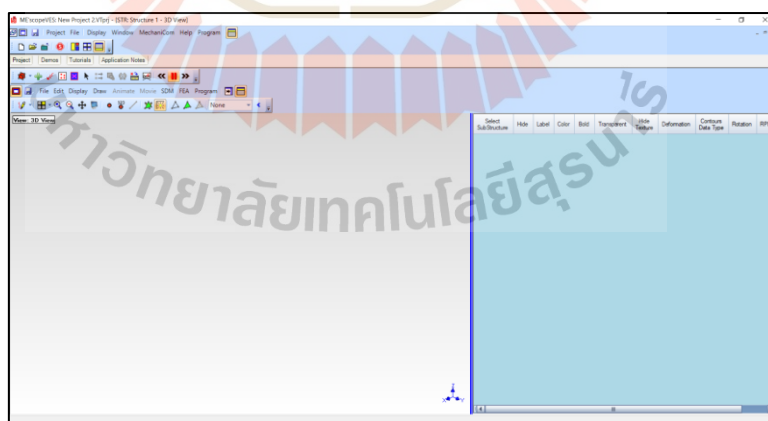


ภาคผนวก ค

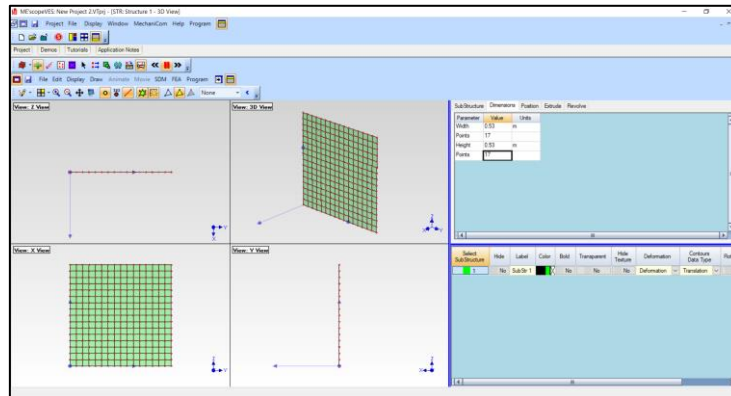
โปรแกรมสำหรับสร้างแบบจำลองเพื่อดูพฤติกรรมการสั้นของผนัง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

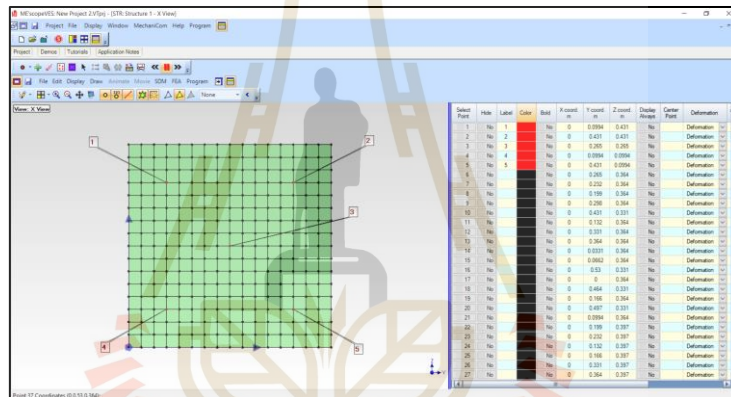
- ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองเพื่อดูพฤติกรรมการสั่นของผนัง
  - เปิดโปรแกรม ME Scope แล้วเลือกสร้าง Project ด้วยแถบเครื่องมือ Project > New จากนั้นเลือก File > New > Structure เพื่อเตรียมสร้างแบบจำลองผนังที่ได้ทำการทดสอบแสดงดังรูปที่ ค.1
  - ทำการสร้างแบบจำลองด้วยการเลือกเครื่องมือ Draw > Drawing Assistant จากนั้นเลือกรูปร่างของชิ้นงานซึ่งในการจำลองจะเลือกรูปร่างสี่เหลี่ยมเนื่องจากจะทำการจำลองพฤติกรรมการสั่นของผนัง โดยปรับขนาดและจำนวนจุดบนผนังได้ด้วยแถบเครื่องมือ Dimension จากนั้นทำการใส่ขนาดและจำนวนจุดของโมเดล ดังรูปที่ ค.2
  - ทำการกำหนดจุดบนโมเดล เพื่อเป็นตัวบ่งบอกว่าเป็นจุดที่มีข้อมูลอยู่แล้ว ส่วนจุดอื่น ๆ จะต้องทำการ Interpolation ด้วยโปรแกรม ดังรูปที่ ค.3
  - นำข้อมูลที่ได้เตรียมไว้มาใส่ในจุดที่กำหนดไว้ เพื่อเตรียมการสำหรับการจำลองลักษณะการสั่น ดังรูปที่ ค.4
  - ทำการ Interpolation ทุกจุดที่ไม่มีข้อมูลขนาดการยุบตัวของผนัง เพื่อให้การจำลองมีความสมจริงมากขึ้น โดยโปรแกรมจะทำการ Interpolation จากข้อมูลที่มีอยู่จำนวน 5 จุด ซึ่งจุดที่ทำการ Interpolation มีจำนวน 289 จุด ดังรูปที่ ค.5
  - ทำการจำลองแบบจำลองเพื่อดูลักษณะการสั่น โดยจะเห็นขนาดการยุบตัวในแต่ละช่วงเวลา ดังรูปที่ ค.6



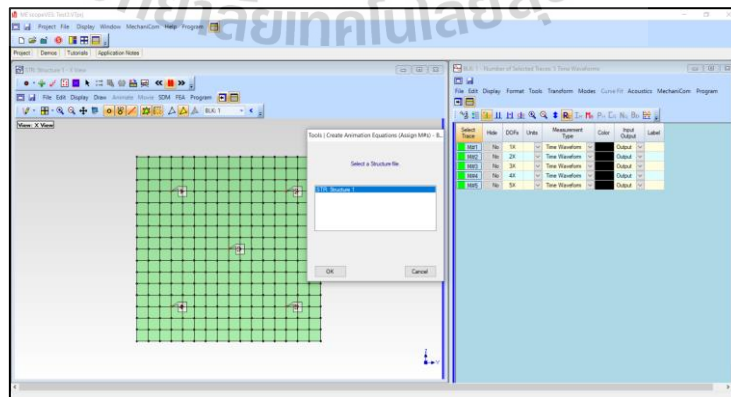
รูปที่ ค.1 โปรแกรมสำหรับสร้างแบบจำลอง



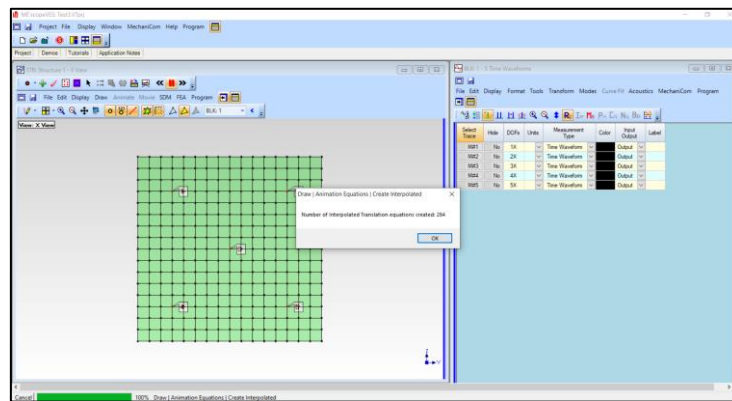
รูปที่ ค.2 การสร้างแบบจำลองด้วยเครื่องมือ Drawing Assistant



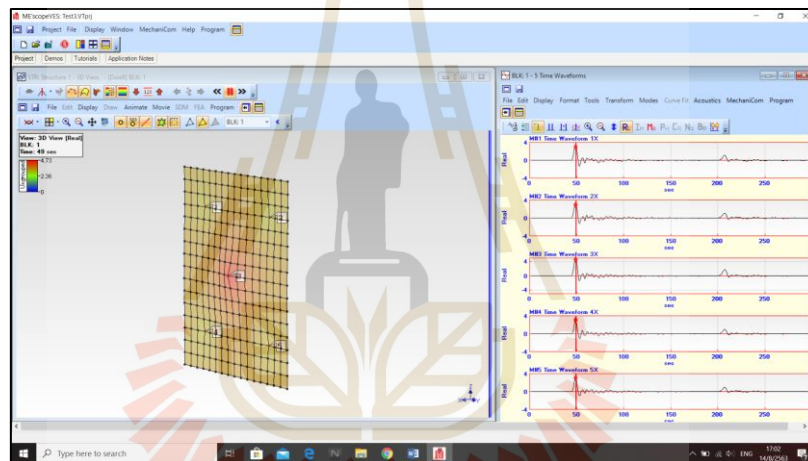
รูปที่ ค.3 การกำหนดจุดบนโมเดลเพื่อเตรียมนำข้อมูลมาใส่



รูปที่ ค.4 การนำข้อมูลที่เตรียมไว้มาใส่ในจุดที่กำหนด



รูปที่ ค.5 การทำ Interpolation เพื่อให้การจำลองมีความสมจริงมากขึ้น



รูปที่ ค.6 การจำลองเพื่อคุณลักษณะหรือพฤติกรรมการสั่น

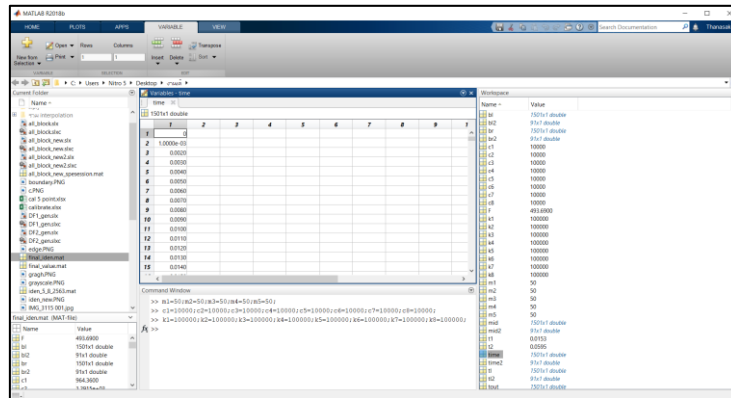


ภาคผนวก ง

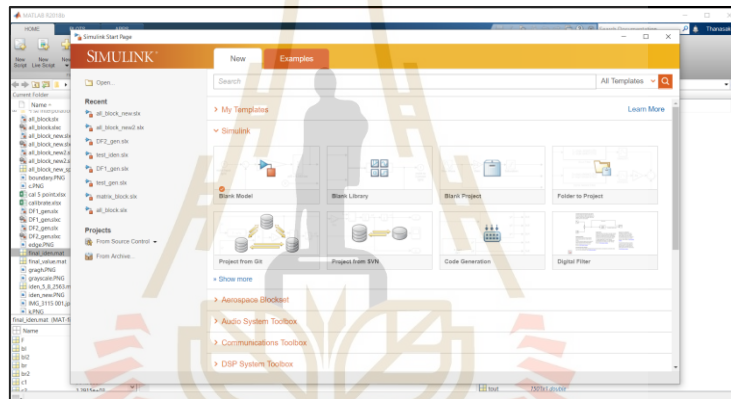
โปรแกรมสำหรับการประมาณค่าพารามิเตอร์ (Parameter Estimation)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

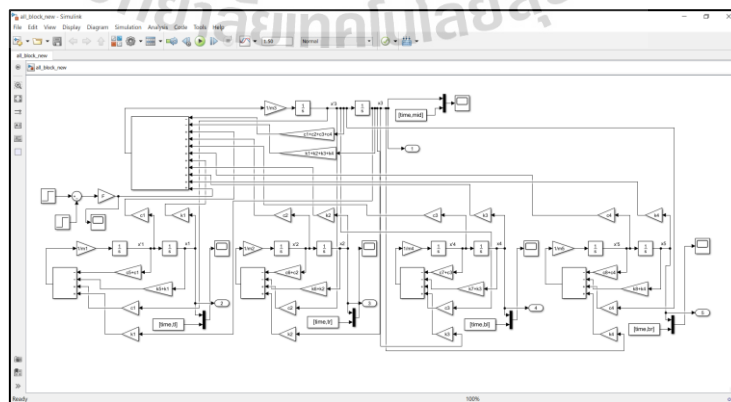




รูปที่ ง.2 นำข้อมูลจากผลการทดสอบที่เตรียมไว้สำหรับการประมาณค่าพารามิเตอร์เข้ามาเก็บไว้



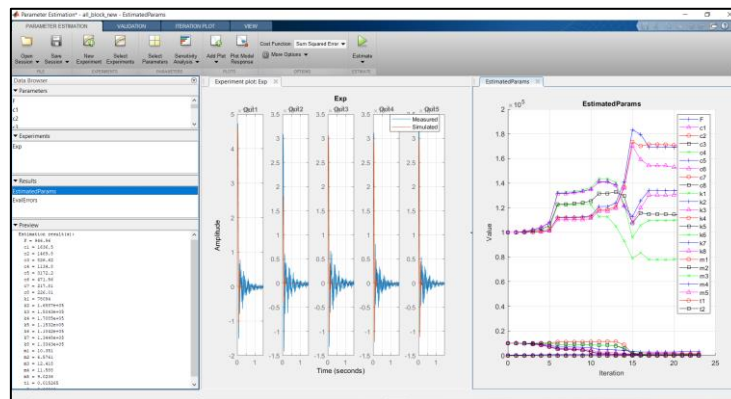
รูปที่ ง.3 ทำการเปิด Simulink ที่อยู่ในโปรแกรม MATLAB



รูปที่ ง.4 สร้างแผนภาพบล็อกจากสมการความสัมพันธ์







รูปที่ ง.8 ทำการประมาณค่าพารามิเตอร์



## ประวัติผู้เขียน

นายอภิรักษ์ อินทร์ชู เกิดเมื่อวันที่ 25 ธันวาคม พ.ศ. 2538 ที่แขวงคลองถนน เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร เริ่มการศึกษาในระดับอนุบาลศึกษาถึงประถมศึกษาปีที่ 5 ที่โรงเรียนประสารวิทยา จังหวัดนครราชสีมา ได้เข้าศึกษาในระดับประถมศึกษาปีที่ 6 ตลอดจนสำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาสายวิทย์คณิต ที่โรงเรียนมารีย์วิทยา จังหวัดนครราชสีมา ได้สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี (วิศวกรรมเครื่องกล) สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อ พ.ศ. 2561 และในปีเดียวกันได้ศึกษาต่อระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ ขณะศึกษาได้เป็นผู้สอนปฏิบัติการของสาขาวิศวกรรมเครื่องกลจำนวน 2 รายวิชา ได้แก่ (1) ปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล 3 (2) วิชาเขียนแบบวิศวกรรม 1 เป็นเวลา 2 ปี

