

การตรวจสอบคุณภาพรอยเชื่อมสันนูนโดยกระบวนการแบ่งด้วย Deep Learning

Weld bead qualifications using deep learning classification method



โยชิตา เปรมปรีดิ์

วรวิมล บากอง

วิเศษ เพชรจันทร์

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบคุณภาพรอยเชื่อมสันนูนโดยกระบวนการแบ่งด้วย Deep Learning

Weld bead qualifications using deep learning classification method



โยชิตา เปรมปรีดี
วรวิภา บากอง
วิเศษ เพชรจันทรานนท์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Weld bead qualifications using deep learning classification
method

Yosita Prempree

Worawut Bakong

Viset Pachjuntranont



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2564

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพรอยเชื่อมสันนูนโดยกระบวนการแบ่งด้วย Deep Learning
Weld bead qualifications using deep learning classification method

ผู้จัดทำ

1. นางสาว โยชิตา เปรมปรีดี รหัสประจำตัว 61010879
2. นาย วรวิทย์ บากอง รหัสประจำตัว 61010936
3. นาย วิเศษ เพชรจันทรานนท์ รหัสประจำตัว 61010983



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.เอกพจน์ ตันตราภิววัฒน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบคุณภาพรอยเชื่อมสันนูนโดยกระบวนการแบ่งด้วย Deep Learning

นางสาว โยชิตา เปรมปรีดี	61010879
นาย วรวุฒิ บากอง	61010936
นาย วิเศษ เพชรจันทรานนท์	61010983
ผศ.ดร. เอกพจน์ ตันตราภิววัฒน์	อาจารย์ที่ปรึกษา

บทคัดย่อ

จากการที่ผู้จัดทำได้ศึกษาเกี่ยวกับรอยเชื่อมและ Artificial Intelligence (AI) ผู้จัดทำได้เล็งเห็นถึงความสำคัญที่สามารถนำ AI มาช่วยวิเคราะห์หรือรอยเชื่อมได้เพื่อให้เกิดประโยชน์ในด้านงานเชื่อมต่างๆ เนื่องจากปัจจุบันผู้จัดทำได้เล็งเห็นว่าในด้านงานเชื่อมต่างๆไม่ว่าจะเล็กหรือใหญ่ยังคงใช้คนในการตรวจสอบรอยเชื่อมทำให้อาจจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นและใช้เวลาในการตรวจสอบชิ้นงานนานกว่า AI หรือแม้กระทั่งการใช้ระบบ Quality Control ในการสุ่มชิ้นงานมาทดสอบ ทำให้ทุกชิ้นงานที่ผลิตออกมาไม่ได้ทำการตรวจสอบทั้งหมดซึ่งอาจจะทำให้บางชิ้นงานไม่มีคุณภาพตามมาตรฐาน จากปัญหาข้างต้นผู้จัดทำจึงจัดทำการใช้ AI ในการตรวจสอบและวิเคราะห์ชิ้นงานรอยเชื่อมเพื่อความสะดวกสบายในการตรวจสอบชิ้นงาน ลดแรงงานคน ลดระยะเวลาในการตรวจสอบและสามารถตรวจสอบรอยเชื่อมได้ทุกชิ้นงานก่อนออกนำไปใช้หรือจำหน่าย

Weld bead qualifications using deep learning classification method

Yosita Prempree 61010879

Worawut Bakong 61010936

Viset Pachjuntranont 61010983

Asst.Prof.Dr.Akapot Tantrapiwat Advisor

Year 2564

Abstract

As the authors have studied welds and Artificial Intelligence (AI), we have seen that AI can be used for help analyze welds that can be benefit for the welding work. In every welds industry, they always use the people to check welds or even using Quality Control systems to randomize the workpieces that mean all the workpieces produced do not perform the inspections and sometimes maybe out of standard. So the authors have prepared and used AI to monitor and analyze welded workpieces for the convenience of inspection that can reduce man's labor and can check all welds before using.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจากผศ.ดร. เอกพจน์ ตันตราภิวัดน์ อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์ ทางคณะผู้จัดทำรู้สึกทราบบ้างในความอนุเคราะห์และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง อีกทั้งขอขอบพระคุณคณะกรรมการการสอบปริญญาานิพนธ์ สำหรับการแนะนำเพิ่มเติมทำให้ปริญญาานิพนธ์มีความสมบูรณ์

ขอขอบคุณอาจารย์ประจำภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมโยธา และวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เป็นผู้ให้ความรู้ ความเข้าใจ ตลอดจนคำแนะนำด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมโยธา และวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยสอนและให้ยืมอุปกรณ์ในการทำการทดลอง รวมทั้งดำเนินการเรื่องเอกสารต่างๆ

นางสาว โยชิตา เปรมปรีดี
นาย วรวุฒิ भाग
นาย วิเศษ เพชรจันทรานนท์

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 สมมติฐานการศึกษา.....	1
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย.....	2
1.6 วิธีการดำเนินงาน.....	2
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
3.1 การเชื่อม.....	6
3.1.1 กระบวนการเชื่อม.....	6
3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อม.....	7
3.1.3 ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นบนรอยเชื่อม.....	7
3.1.4 มาตรฐานที่ใช้ในการเชื่อม.....	8
3.2 การทดสอบการกระแทก (Charpy Impact Testing).....	9
3.2.1 ทฤษฎีการกระแทก.....	9
3.2.2 ส่วนประกอบเครื่องมือการทดสอบการกระแทก.....	10
3.2.3 กระบวนการทดสอบ.....	12
3.2.4 ความแกร่งหรือความเหนียว (Toughness).....	13
3.3 การทดสอบแรงดึง (Tensile Test).....	14
3.3.1 ความเค้น (Stress) และ ความเครียด (Strain).....	15
3.3.2 ค่าโมดูลัสของยังส์ (Young's modulus, E).....	16
3.3.3 ค่าความแข็งแรงแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength, σ_{TS}).....	16
3.4 ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence).....	17
3.4.1 ประเภทของปัญญาประดิษฐ์.....	17
3.4.2 การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning).....	18
3.4.2.1 ประเภทของการเรียนรู้เชิงลึก.....	18
3.4.3 เครื่องมือที่ใช้ในการสร้างปัญญาประดิษฐ์ (Platform).....	19

สารบัญ (ต่อ)

3.4.4 การประมวลผลของปัญญาประดิษฐ์ (Neural Network API).....	20
3.4.5 การตรวจจับคุณลักษณะในรูปภาพ.....	20
3.4.6 โครงสร้างภาพรวมของการตรวจจับคุณลักษณะในรูปภาพ.....	21
บทที่ 4 การดำเนินการทดลอง.....	23
4.1 การทดสอบทางกล.....	23
4.1.1 การเตรียมรูป.....	23
4.1.2 ทดสอบแรงดึงและการกระแทกเพื่อนำผลการทดสอบไปใช้แบ่งระดับชั้น เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่ไม่มีรอยเชื่อม.....	27
4.1.2.1 การเตรียมชิ้นงาน.....	27
4.1.2.2 ทดสอบชิ้นงาน.....	28
4.1.2.3 นำผลการทดสอบมาใช้แบ่งระดับชั้นเปอร์เซ็นต์ที่ไม่มีรอยเชื่อม..	28
4.2 การตรวจสอบรอยเชื่อมด้วย Image classification.....	28
4.2.1 การเตรียมข้อมูลเพื่อใช้ในการสร้างปัญญาประดิษฐ์.....	28
4.2.2 การเรียนรู้.....	31
4.2.3 ทดสอบระบบ.....	34
บทที่ 5 ผลการทดลอง.....	37
บทที่ 6 สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....	57
6.1 สรุปผลการทดลอง.....	57
6.2 อภิปรายผล.....	57
6.3 ข้อเสนอแนะ.....	58

สารบัญ (ต่อ)

บรรณานุกรม.....59



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 3.1 ขนาดต่ำสุดของรอยเชื่อมแบบพอกตามมาตรฐาน.....	8
ตารางที่ 4.1 การใช้โปรแกรม Microsoft Exel คัดเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่ไม่มีรอยเชื่อมเทียบกับพื้นที่ที่มีรอยเชื่อมเต็มโดยใช้ข้อมูลที่หาได้จากโปรแกรม Image J.....	26
ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดสอบด้วยการทดสอบการกระแทก (Impact Test)	37
ตารางที่ 5.2 แสดงรายละเอียดการทดสอบด้วยการทดสอบแรงดึง (Tensile Test)	38
ตารางที่ 5.3 แสดงผลการทดสอบด้วยการทดสอบแรงดึง (Tensile Test)	38
ตารางที่ 5.4 แสดงผลการทดสอบรูปภาพจำนวน 50 รูปโดยใช้ Image Classification เปรียบเทียบกับพื้นที่จริงที่หาโดยโปรแกรม Image J.....	40

สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 3.1 องค์ประกอบของการเชื่อมไฟฟ้า.....	6
รูปที่ 3.2 ตัวอย่างของชิ้นงานที่เกิดความผิดปกติ.....	7
รูปที่ 3.3 ลักษณะการทำงานของเครื่องทดสอบการกระแทก.....	10
รูปที่ 3.4 เครื่องทดสอบการกระแทกแบบชาร์ปที่ใช้ในการทดลอง.....	11
รูปที่ 3.5 ชิ้นทดสอบการกระแทกแบบชาร์ป.....	11
รูปที่ 3.6 ลักษณะการทดสอบการกระแทกแบบชาร์ป.....	12
รูปที่ 3.7 ลักษณะพื้นที่รอยแตกแบบเปราะและแบบเหนียวบนชิ้นงานทดสอบแรงกระแทก.....	13
รูปที่ 3.8 แสดงช่วงการเสียรูปแบบ Elastic และ Plastic.....	14
รูปที่ 3.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด.....	15
รูปที่ 3.10 การจำลองการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมจากระบบประสาทของมนุษย์.....	18
รูปที่ 3.11 สถาปัตยกรรมของ TensorFlow.....	19
รูปที่ 3.12 การกรองข้อมูลด้วย Convolution.....	20
รูปที่ 3.13 การกรองข้อมูลด้วย Max Pooling.....	21
รูปที่ 3.14 แสดงตารางโครงสร้างโดยภาพรวมของการตรวจจับลักษณะที่ใช้ในการแบ่งรูปรอยเชื่อม.....	21
รูปที่ 4.1 อุปกรณ์ที่เตรียมมาสำหรับการเชื่อม.....	23
รูปที่ 4.2 ตัดขนาดเหล็กให้ได้ความยาวพอเหมาะสำหรับเชื่อมไฟฟ้า.....	24
รูปที่ 4.3 ทำการเชื่อมไฟฟ้าให้ได้รูปทั้ง 4 ระดับชั้น.....	24
รูปที่ 4.4 การใช้โปรแกรม Image J ในการหาพื้นที่ที่ไม่มีรอยเชื่อม.....	25

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 4.5 ตัวอย่างขั้นตอนทดสอบของการทดสอบกระแทก.....	27
รูปที่ 4.6 ตัวอย่างขั้นตอนทดสอบของการทดสอบแรงดึง.....	27
รูปที่ 4.7 รูปตัวอย่างการทดสอบด้วยการทดสอบการกระแทก.....	28
รูปที่ 4.8 การแสดงผลของการเรียกข้อมูล.....	29
รูปที่ 4.9 ปัญหาประดิษฐ์กำลังเรียนรู้จากข้อมูลรูปภาพที่ป้อนเข้าไป.....	32
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์.....	33
รูปที่ 4.11 แสดงตัวอย่างรูปรอยเชื่อมดี (มีพื้นที่ที่ไม่มีรอยเชื่อม 0-25 เปอร์เซ็นต์).....	34
รูปที่ 4.12 แสดงตัวอย่างรูปพื้นที่ที่ไม่มีรอยเชื่อม 25-50 เปอร์เซ็นต์.....	34
รูปที่ 4.13 แสดงตัวอย่างรูปพื้นที่ที่ไม่มีรอยเชื่อม 50-75 เปอร์เซ็นต์.....	35
รูปที่ 4.14 แสดงตัวอย่างรูปพื้นที่ที่ไม่มีรอยเชื่อม 75-100 เปอร์เซ็นต์.....	35
รูปที่ 4.15 แสดงตัวอย่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ของโปรแกรม.....	36

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

W	งาน ($\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^2$)
F	แรงที่กระทำ (N)
D	ระยะทางในช่วงที่แรงกระทำ (m)
E	พลังงานที่ได้จากการปล่อยตุ้มน้ำหนัก ($\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^2$)
W	น้ำหนักของลูกตุ้ม (N)
M	มวลของตุ้มน้ำหนัก (kg)
h	ความสูงของลูกตุ้มก่อนกระแทก (m)
h'	ความสูงของลูกตุ้มหลังกระแทก (m)
g	อัตราเร่งจากแรงดึงดูดของโลก (9.81 m/s^2)
r	ความยาวแขนลูกตุ้ม (m)
α	มุมยกลูกตุ้มก่อนการกระแทกขึ้นทดสอบ
β	มุมยกลูกตุ้มหลังการกระแทกขึ้นทดสอบ
A	พื้นที่หน้าตัดบริเวณร่องบาก (m^2)
σ	ความเค้นทางวิศวกรรม (Engineering stress)
P	แรงดึงที่กระทำตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน
A_0	พื้นที่หน้าตัดเดิมของชิ้นงาน
ϵ	ความเครียดทางวิศวกรรม (Engineering strain)
L_0	ความยาวเดิมของชิ้นงาน
L_f	ความยาวสุดท้ายของชิ้นงาน
ΔL	ผลต่างความยาวของชิ้นทดสอบ
$P_{fracture}$	แรงกระทำสุดท้ายก่อนการแตกหัก

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมมีการใช้วิธีการต่างๆ ที่หลากหลายในการผลิต เช่น การตัด, การเจาะ, การกลึง, การขึ้นรูปขึ้นงาน ฯลฯ และอีกวิธีหนึ่งในกระบวนการผลิตขึ้นงานที่เป็นที่นิยมในการนำเอาวัสดุหลายชิ้นมารวมกัน คือ การเชื่อม ซึ่งสามารถทำได้ด้วยตนเองหรือใช้เครื่องจักรช่วยในการเชื่อม

เนื่องจากการเชื่อมโลหะมักพบเห็นได้ทั่วไปตามสถานที่หรือสิ่งของต่างๆ และการเชื่อมโลหะที่พบเห็นอาจมีได้หลายรูปแบบ แต่ที่สามารถพบเห็นได้มากที่สุดคือการเชื่อมตามยาว หลายครั้งจากการสังเกตพบว่ารอยเชื่อมที่เห็นมักจะมีลักษณะที่ไม่ถูกต้อง ซึ่งรอยเชื่อมที่ไม่ถูกต้องนี้อาจนำไปสู่ความเสียหายต่อทรัพย์สินและชีวิตได้ อีกทั้งการที่จะนำเอาผู้ชำนาญการด้านการเชื่อมมาตรวจสอบก็อาจมีความยุ่งยากในการติดต่อ, การสื่อสารที่ไม่เข้าใจ หรืออาจมีค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็นเกิดขึ้น

คณะผู้จัดทำที่เล็งเห็นในปัญหาจึงใช้ความรู้ทางวิศวกรรมเครื่องกลและการเรียนรู้เชิงลึก (Deep learning) ซึ่งเป็นสาขาหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ มาแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นดังที่กล่าวไว้ข้างต้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการใช้ปัญญาประดิษฐ์เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการตรวจสอบรอยเชื่อม
2. ปัญญาประดิษฐ์สามารถทำนายผลการทดสอบได้แม่นยำมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์

1.3 สมมติฐานการศึกษา

1. AI ที่สร้างขึ้นสามารถตรวจสอบและแบ่งระดับชั้นรอยเชื่อมที่ถ่ายไว้ได้
2. รอยเชื่อมที่ทำการทดสอบกับ AI มีผลการทดสอบที่สอดคล้องกับการทดสอบแรงดึงและการทดสอบการกระแทก

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1. เครื่องมือที่ตรวจสอบรอยเชื่อมที่ใช้ได้จริงตามมาตรฐาน
2. ใช้การเขียนโปรแกรมด้วย Python เพื่อสร้างการเรียนรู้เชิงลึกที่เป็นสาขาหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์
3. ใช้เหล็กแบนขนาดความหนา 0.6 เซนติเมตร ความกว้าง 7.62 เซนติเมตร ระยะรอยเชื่อมกว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร และใช้ลวดเชื่อมยี่ห้อ KOBE ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.6 มิลลิเมตร ยาว 350 มิลลิเมตร

1.5 ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย

1. สามารถเรียนรู้พัฒนาทักษะด้านการเขียนโปรแกรมและการสร้างปัญญาประดิษฐ์ให้สอดคล้องกับเทคโนโลยีในโลกยุคปัจจุบันได้ดียิ่งขึ้น
2. เป็นแนวทางในการพัฒนาวิธีการตรวจสอบรอยเชื่อมโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์

1.6 วิธีการดำเนินการ

1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการเชื่อมและรอยเชื่อมสันนูน (Bead welding)
2. ศึกษาการเขียนชุดคำสั่งโปรแกรม Python
3. นำความรู้จากการศึกษา Python มาเขียนชุดคำสั่งเพื่อสร้าง AI โดยเลือกใช้ Image Classification
4. เชื่อมโลหะโดยให้มีลักษณะรอยเชื่อมทั้งแบบมีพื้นที่เต็มขนาดรอยเชื่อมความกว้าง 1 เซนติเมตรและความยาว 10 เซนติเมตร และรอยเชื่อมแบบที่มีพื้นที่ไม่เต็มเพื่อนำไปหาเปอร์เซ็นต์ในการจัดระดับชั้น
5. ถ่ายรูปชิ้นงานที่ได้ทำการเชื่อมแล้วโดยถ่ายให้มีขนาดความกว้าง 7.62 เซนติเมตร ความยาว 10 เซนติเมตร แล้วแบ่งรูปรอยเชื่อมเป็น 4 ระดับชั้นคือรอยเชื่อมที่มีพื้นที่เป็น 0-25, 25-50, 50-75 และ 75-100 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับพื้นที่ของรอยเชื่อมเต็มโดยใช้โปรแกรม Image J ในการหาพื้นที่ของตำหนิบนรอยเชื่อม
6. นำชิ้นงานที่เชื่อมไปทดสอบกับเครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุแล้วนำผลการทดสอบมาใช้ในการแบ่งระดับเปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่ไม่มีรอยเชื่อม
7. นำรูปที่รวบรวมได้มาจัดทำ Data Set โดยปรับให้ขนาดรูปมีความกว้าง 200 พิกเซล ยาว 266 พิกเซลเพื่อเตรียมใช้ในการฝึก AI

8. นำ Data Set ที่เตรียมไว้ไปใช้ฝึก AI ที่เขียนขึ้น ซึ่งเตรียมไว้ทั้งหมดจำนวน 1000 รูป
9. ทดสอบ AI ที่สร้างขึ้นโดยเลือกรูปรอยเชื่อมที่ไม่ได้นำไปใช้ในกระบวนการเรียนรู้มาใช้ในขั้นตอนการทดสอบซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 50 รูป
10. สรุปและอภิปรายผล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นัศพ์ชาณัณ ชินปัญชัณนะ งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการจำแนกความหมายของภาพ โดยใช้หลักทฤษฎีการรับรู้ภาพของ มนุษย์ที่เรียกว่าโครงสร้างสเกตริตรอน เพื่อทำการเชื่อมโยงประสานกับวัตถุบนภาพให้สอดคล้องตามความหมายของกระบวนการคิดแปลความหมายภาพของมนุษย์โดย ข้อมูลทั้งหมดถูกคัดเลือกโดยใช้กระบวนการคัดเลือกข้อมูลเพื่อให้ได้รฟเวอร์ที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุดเข้ามาทำการทดลองจากผลการทดลองสามารถจำแนกภาพด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้าหลายชั้นได้ความถูกต้องถึง 94.8%

C. Schwenk, M. Rethmeier. บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ภาพรวมเกี่ยวกับการกำหนดการทดลองและการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุที่จำเป็นในการป้อนข้อมูลสำหรับการสร้างแบบจำลองทางตัวเลขของการเชื่อม และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการเชื่อมในระยะยาว โดยการรวบรวมข้อมูลของโลหะสามชนิด การจำลองการเชื่อมเชิงตัวเลขช่วยในการวิเคราะห์รายละเอียดของผลกระทบด้านความร้อนจากการเชื่อม กล่าวคือ ความร้อนและพฤติกรรมทางกลของชิ้นงานทดสอบระหว่างการเชื่อมมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของชิ้นงาน เช่นการบิดและความเค้น เงื่อนไขขอบเขตที่สำคัญสำหรับการทดลองคืออัตราการให้ความร้อนและความเย็นสูง โดยจากการทดลองอัตราการให้ความร้อนสูงทำให้เกิดอัตราความเครียดสูง ซึ่งมีอิทธิพลเกี่ยวกับความแข็งแรงของผลผลิตและพฤติกรรมการแข่งขันตัวของวัสดุ โดยต้องทำการทดสอบแรงดึงที่อุณหภูมิสูง

J. N. Dupont and A. R. Marder. งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการศึกษาประสิทธิภาพความร้อนของการเชื่อม โดยมีความสำคัญคือประสิทธิภาพการอาร์คและประสิทธิภาพการหลอมละลาย โดยประสิทธิภาพอาร์คถูกกำหนดเป็นฟังก์ชันของกระแสโดยใช้โลหะ A36 ในขณะที่ประเมินประสิทธิภาพการหลอมละลายด้วยการแปรผันของกำลังอาร์คและความเร็วระหว่างโลหะเติม austenitic stainless steel ที่เข้าสู่พื้นผิวเหล็ก A36 อัตราพลังงานที่เกิดจากการอาร์คมาจากผลคูณของแรงดันกระแสและแรงดันอาร์ค ปริมาณความร้อนที่ป้อนเข้า ซึ่งเป็นปริมาณที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย คืออัตราส่วนของกำลังอาร์คต่อความเร็วในการเคลื่อนที่ และแสดงถึงปริมาณพลังงานที่เกิดจากการอาร์คต่อความยาวหน่วยของรอยเชื่อม ซึ่งปริมาณความร้อนก็มีผลต่อประสิทธิภาพของการหลอมละลาย โดยประสิทธิภาพการหลอมละลายจะสูงก็ต่อเมื่อประสิทธิภาพการอาร์คสูง

Stan A David, Tarasankar Debroy. ศึกษาเกี่ยวกับปัญหาในการเชื่อมโลหะ โดยจะมีการวิเคราะห์ถึงระดับโมเลกุลของโลหะบริเวณที่มีการเชื่อมเพื่อพัฒนากระบวนการเชื่อม และรองรับการเชื่อมวัสดุแปลกใหม่ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตให้มีประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

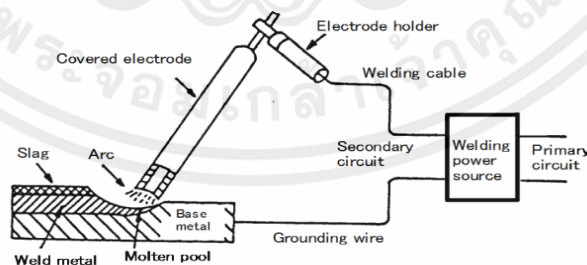
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 การเชื่อม

3.1.1 กระบวนการเชื่อม

การเชื่อม - เป็นกระบวนการเชื่อมเหล็กด้วยความร้อนและ/หรือความดัน กระบวนการเชื่อมสามารถแบ่งได้เป็น กระบวนการแรงดัน กระบวนการหลอม และการประสานจากกลไกการเชื่อมเหล็ก โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการเชื่อมเฉลี่ยประมาณ 6000 องศาเซลเซียส ในกระบวนการแรงดัน สองชิ้นงานจะถูกต่อกันโดยการใช้แรงดันบริเวณรอบๆ รอยต่อของชิ้นงาน ในกระบวนการหลอมจะเป็นการให้ความร้อนบริเวณรอยต่อของสองชิ้นงานโดยปราศจากแรงดัน เหล็กจะค่อยๆ หลอมละลายอย่างช้าๆ และรวมกันเป็นเนื้อเดียวในขั้นตอนของการประสานจากกลไกการเชื่อมเหล็ก

การเชื่อมไฟฟ้า - เป็นการเชื่อมแบบหลอมละลาย โดยใช้ลวดเชื่อมที่จับโดยหัวจับลวดเชื่อมที่ต่อกับขั้วไฟฟ้าของเครื่องเชื่อมไฟฟ้า และอีกขั้วต่อเข้ากับชิ้นงาน เมื่อปลายลวดเชื่อมสัมผัสกับชิ้นงาน ทำให้เกิดการอาร์ค (Arc) ระหว่างชิ้นงานและลวดเชื่อม ทำให้เกิดบริเวณการหลอมละลายของโลหะขึ้น (Molten pool) เมื่อเวลาผ่านไปโลหะที่หลอมเหลวจะเย็นตัวลงโดยเป็นการผสมระหว่างโลหะจากชิ้นงาน (Base Metal) และโลหะจากลวดเชื่อมโดยจะมีลักษณะเป็นสันนูนเพื่อให้เกิด (Bead welding) การอาร์คอย่างต่อเนื่อง ลวดเชื่อมควรอยู่ห่างจากชิ้นงานประมาณ 2-3 มิลลิเมตร และผู้เชื่อมควรถือให้ลวดเชื่อมทำมุมกับชิ้นงาน 45 องศา ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 องค์ประกอบของการเชื่อมไฟฟ้า

(ที่มา : “The ABC’s of Arc Welding and Inspection, KOBE STEEL, LTD”, โดย Kita Shinagawa and Shinagawa Ku)

3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อม

ลวดเชื่อม (Covered electrode) - เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เติมเต็มรอยเชื่อมระหว่างโลหะ 2 ชิ้น ให้สามารถรวมกันเป็นชิ้นเดียวได้ โดยลวดเชื่อมจะประกอบด้วยแกนลวดที่เป็นโลหะ มีหลายชนิดขึ้นกับโลหะที่ต้องการเชื่อม และฟลักซ์ที่หุ้มแกนลวด ซึ่งทำหน้าที่ในการกำจัดสิ่งแปลกปลอมในเนื้อโลหะโดยธาตุผสมที่อยู่ในฟลักซ์จะจับตัวกับสิ่งปนเปื้อนที่อยู่ในเนื้อโลหะในขณะที่มีการหลอมละลาย ทำให้เกิดสแลกที่เกาะอยู่บนผิวของรอยเชื่อมเมื่อเย็นตัวลง ทำให้ชิ้นงานหลอมรวมกันเป็นชิ้นเดียวได้อย่างสมบูรณ์

เครื่องเชื่อมไฟฟ้า (Welding power source) - เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานที่ใช้ในการเชื่อมไฟฟ้า โดยจะสร้างกระแสไฟและแรงเคลื่อนผ่านสายเชื่อม (Welding cable) ไปสู่ลวดเชื่อมและชิ้นงาน ทำให้เกิดการอาร์คขึ้น สามารถปรับและควบคุมกระแสไฟฟ้าให้เหมาะสมกับวัสดุที่ต้องการเชื่อมหรือขนาดลวดเชื่อมได้

เครื่องป้องกัน อุปกรณ์ที่ใช้ในการป้องกันอันตรายหรือผลกระทบจากการเชื่อม เช่น ความร้อน รังสีความร้อน แสงที่เกิดในระหว่างการเชื่อม ควันและฝุ่นจากโลหะที่ระเหยจากการเชื่อม เป็นต้น โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการป้องกันคือ หน้ากากเชื่อม, ถุงมือหนังชนิดไม่เปิดปลายนิ้วมือ, เสื้อแขนยาวและกางเกงขายาวที่ไม่ลู่ติดไฟง่าย, สวมรองเท้าหุ้มข้อ

3.1.3 ความผิดปกติที่เกิดขึ้นบนรอยเชื่อม

ความผิดปกติบนรอยเชื่อมสามารถเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม, เทคนิคที่ใช้ในการเชื่อม, ความเร็วที่ใช้ในการลากมือและความชำนาญของผู้ที่ทำการเชื่อมชิ้นงานเอง ซึ่งทำให้ชิ้นงานสามารถเกิดบริเวณที่โลหะไม่สามารถหลอมเหลวรวมเป็นเนื้อเดียวกัน สามารถเห็นได้จากการมองจากพื้นผิวหรือถ้าตัดขวางชิ้นงานจะเห็นเป็นช่องว่างระหว่างชิ้นงาน



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างของชิ้นงานที่เกิดความผิดปกติ

3.1.4 มาตรฐานที่ใช้ในการเชื่อม

มาตรฐานที่ใช้ในการเชื่อมโลหะแบบต่อชน (Butt Weld) ใช้มาตรฐาน AISC และมาตรฐาน ว.ส.ท ได้กำหนดเอาไว้ว่า โลหะที่ใช้จะต้องมีความหนาไม่เกิน 0.8 เซนติเมตร ความยาวของรอยเชื่อมต้องมีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 4 เท่าของขนาดการเชื่อม และถ้าความหนาของเหล็กมีขนาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.6 เซนติเมตร ให้ขนาดการเชื่อมมีค่าน้อยเท่ากับความหนาของเหล็ก ถ้าความหนาของเหล็กมีขนาดมากกว่า 0.6 เซนติเมตร ให้ขนาดการเชื่อมมีค่าน้อยเท่ากับความหนาของเหล็กด้วย 0.15 เซนติเมตร

ตารางที่ 3.1 ขนาดต่ำสุดของรอยเชื่อมแบบพอกตามมาตรฐาน

ความหนาของแผ่นเหล็ก (เซนติเมตร)	ขนาดต่ำสุดของรอยเชื่อมแบบ พอก (เซนติเมตร)	ความหนาคอปประสิทธิภาพต่ำสุด ของรอยเชื่อมแบบร่องทะลุไม่ ตลอด (เซนติเมตร)
$t \leq 0.6$	0.3	0.3
$0.6 < t \leq 1.2$	0.5	0.5
$1.2 < t \leq 1.9$	0.6	0.6
$1.9 < t \leq 3.8$	0.8	0.8
$3.8 < t \leq 5.6$	0.8	0.9
$5.6 < t \leq 15$	0.8	1.2
$t > 15$	0.8	1.6

(ที่มา : <http://engineeringmaterialsproject.blogspot.com/2015/12/9.html>)

3.2 การทดสอบการกระแทก (Charpy Impact Testing)

การทดสอบการกระแทกเป็นการทดสอบที่ใช้วัดค่าพลังงานที่จำเป็นในการทำให้วัสดุเกิดการแตกหักภายใต้การรับแรงแบบฉับพลัน โดยทั่วไปเมื่อต้องการประเมินโอกาสการเสียหายและความปลอดภัยในสภาวะการใช้งานต่างๆ ของวัสดุจำเป็นต้องทราบความเหนียว (Toughness) ของวัสดุ และวิธีการทดสอบที่นิยมใช้คือการทดสอบแรงกระแทก (Impact Test) เพื่อทำการวัดค่า พลังงานในการกระแทก (Impact Energy), อุณหภูมิที่ทำให้วัสดุเหนียวเป็นวัสดุเปราะ (Impact Transition Temperature (ITT)) และศึกษาผิวรอยแตกของวัสดุโดยใช้แรงกระแทกทำให้ขึ้นทดสอบเกิดการแตกหัก

3.2.1 ทฤษฎีการกระแทก

การทดสอบการกระแทกเป็นการวัดการส่งถ่ายพลังงานที่จำเป็นในการแตกหักของวัสดุจากการตีขึ้นทดสอบเพียงครั้งเดียวให้แตกหักภายใต้ภาวะที่กำหนด โดยที่ค่าความแข็งแรงของการกระแทกจะสามารถบอกได้ถึงความสามารถในการรับแรงแบบฉับพลัน พลังงานที่สูญเสียจากการกระแทกมีการสูญเสียไปในหลายลักษณะทั้งในการเสียรูปแบบยืดหยุ่นและถาวร และการเสียดทานจากการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนต่างๆ และในการทดสอบจะใช้พลังงานของลูกตุ้มกระแทกให้ขึ้นทดสอบเกิดการเสียหายซึ่งจะนิยามให้พลังงานเป็นงานจากแรงที่กระทำในระยะหนึ่ง ดังสมการ

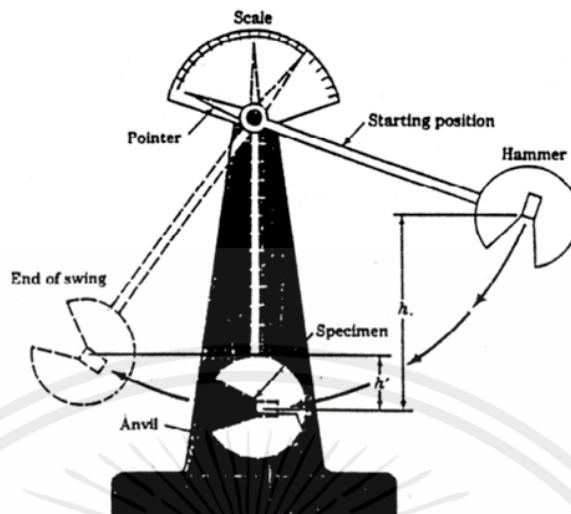
$$W = FD \quad (3.1)$$

และค่าการดูดซับพลังงานการกระแทกหรือความต้านทานการกระแทกของวัสดุสามารถหาได้จากการปล่อยลูกตุ้มที่ทราบค่าน้ำหนักลงบนขึ้นทดสอบ และผลต่างของระดับพลังงานศักย์ของลูกตุ้มก่อนและหลังการกระแทก ดังสมการ

$$E = W(h - h') \quad (3.2)$$

หรือ

$$E = mg (h - h') \quad (3.3)$$



รูปที่ 3.3 ลักษณะการทำงานของเครื่องทดสอบการกระแทก

(ที่มา : “คุณสมบัติและการทดสอบวัสดุ” โดย อรรถพล ตะระะ, 2551, หน้า 220.)

3.2.2 ส่วนประกอบเครื่องมือการทดสอบการกระแทก

สำหรับเครื่องทดสอบการกระแทกควรมีคุณสมบัติที่สำคัญต่างๆ ดังนี้

- เครื่องทดสอบ ต้องถูกสร้างขึ้นและติดตั้งอย่างเที่ยงตรงและมั่นคง พลังงานที่สูญเสียไปจากการหมุนและการสั่นเนื่องจากโครงสร้างต้องเกิดขึ้นน้อยที่สุด
- ตั้มเหวี่ยง ทำหน้าที่ในการตีขึ้นทดสอบให้เกิดความเสียหาย ควรมีความมั่นคงแข็งแรงพอที่จะทนต่อแรงสั่นสะเทือนในปริมาณมากได้
- เสกวัตพลังงาน ทำหน้าที่ในการแสดงค่าพลังงานหลังตีขึ้นทดสอบจนเกิดความเสียหาย ต้องมีความละเอียดเพียงพอ ได้รับการตรวจสอบจากสำนักงานมาตรฐาน
- ตั้มล้อคตั้มเหวี่ยง ทำหน้าที่ในการดึงตัวสลักให้ล้อคตั้มเหวี่ยงค้างไว้
- เบรก ทำหน้าที่ในการหยุดตั้มเหวี่ยงเมื่อตีขึ้นทดสอบจนเกิดความเสียหายแล้ว

พลังงานที่สูญเสียไปจากการทดสอบการกระแทกไม่ว่าจะเป็นความเสียหาย ความต้านทานกับอากาศ ความฝืดของเข็มบนเสกหรือพลังงานจลน์ที่ให้กับขึ้นทดสอบ โดยปกติแล้วเกิดขึ้นไม่เกินร้อยละ 1 หรือไม่เกิดขึ้นเลย



รูปที่ 3.4 เครื่องทดสอบการกระแทกแบบชาร์ปีที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.5 ชิ้นทดสอบการกระแทกแบบชาร์ปี

3.2.3 กระบวนการทดสอบ

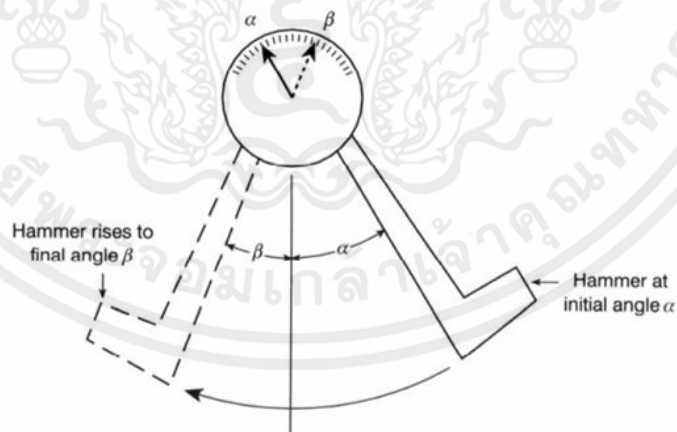
รูปแบบที่ควรเป็นตามทฤษฎีของเครื่องทดสอบการกระแทกคือ ต้มน้ำหนักควรจะให้พลังงานจลน์ที่มากพอที่จะทำให้ชิ้นทดสอบเกิดการแตกหักและถูกยึดอย่างดีเพื่อลดอิทธิพลจากการแกว่งไปด้านข้าง แทนวางชิ้นทดสอบและชุดรองรับควรจะสามารถทำให้ชิ้นทดสอบรับแรงกระแทกได้เต็มที่ และมีน้ำหนักมากพอที่จะไม่ทำให้พลังงานจากการกระแทกสูญเสียเนื่องจากการเสีรูปหรือการสั่นของแทนวางชิ้นทดสอบ นอกจากนี้ชิ้นทดสอบควรจะถูกยึดอย่างดีในตำแหน่งที่ถูกต้องตลอดการทดสอบ

โดยปกติเครื่องทดสอบชาร์ปี (Charpy test) จะมีขนาด 220 ปอนด์ฟุตสำหรับการทดสอบโลหะ โดยการทดสอบจะใช้ลูกตุ้มที่มีก้อนน้ำหนักติดอยู่ที่ปลายเคลื่อนผ่านระหว่างขาตั้งเครื่องและกระแทกเข้ากับชิ้นทดสอบที่เตรียมไว้ ซึ่งชิ้นทดสอบขนาดมาตรฐานคือ $10 \times 10 \times 55$ มิลลิเมตร ลูกตุ้มกระแทกต้องรู้มุมการยกที่ทราบค่าแน่นอนคือ α ทฤษฎีกำหนดให้ลูกตุ้มไม่มีความต้านทานใดๆ ทำให้มุมเหวี่ยงเท่ากับมุมเดิมได้แก่ α เมื่อทำการปล่อยลูกตุ้มให้เหวี่ยงอย่างอิสระ ลูกตุ้มจะกระแทกกับชิ้นทดสอบและเกิดการถ่ายพลังงานส่วนหนึ่งให้กับชิ้นทดสอบจนเกิดการแตกหักและเกิดมุมที่เหวี่ยงเลยไปเท่ากับ β ดังรูปที่ 3.6 และจะสามารถคำนวณพลังงานที่ใช้ได้ด้วยสมการ

$$E = Wr(\cos \beta - \cos \alpha) \quad (3.4)$$

หรือ

$$E = mgr(\cos \beta - \cos \alpha) \quad (3.5)$$



รูปที่ 3.6 ลักษณะการทดสอบการกระแทกแบบชาร์ปี

(ที่มา : “คุณสมบัติและการทดสอบวัสดุ” โดย อรรถพล ตะระะ, 2551, หน้า 225.)

และสามารถคำนวณหาค่าการกระแทก(Impact value) ได้จากสมการ

$$\text{ค่าการกระแทก (Impact strength)} = \frac{E}{A} \quad (3.6)$$

โดยที่ E = พลังงานดูดซับ(ค่าพลังงานที่ทำให้วัสดุแตกหักซึ่งหาได้จากการอ่านจากหน้าปัดของเครื่องทดสอบหรือหาจากการคำนวณดังสมการที่ 3.4 หรือสมการที่ 3.5)

3.2.4 ความแกร่งหรือความเหนียว (Toughness)

การทดสอบการกระแทกเป็นวิธีการที่นิยมใช้ในการทดสอบความเหนียวของวัสดุ โดยปกติแล้วค่า Impact Energy จะไม่ได้ถูกนำมาใช้โดยตรงในการออกแบบแต่จะนำมาใช้ในเรื่องของการเป็นแนวทางการประเมินคุณสมบัติของวัสดุ โดยความเหนียว (Toughness) คือความสามารถของวัสดุที่จะดูดซับพลังงานไว้โดยไม่เกิดการแตกหัก ซึ่งวัสดุเหนียวอาจเปลี่ยนเป็นวัสดุเปราะได้เมื่ออุณหภูมิต่ำลง เมื่อนำค่า Impact Energy มาทำการพล็อตกับอุณหภูมิจะพบว่ามีอุณหภูมิช่วงหนึ่งที่เรียกว่า Impact Transition Temperature (ITT) คือช่วงอุณหภูมิที่ Impact Energy มีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว และช่วง ITT คือช่วงของอุณหภูมิที่วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติจากวัสดุเหนียวมาเป็นวัสดุเปราะหรือเป็นช่วงอุณหภูมิที่วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงจากวัสดุที่มีพลังงานสูงมาเป็นวัสดุที่มีพลังงานต่ำ

จากการทดสอบที่ผิวรอยแตก (Fracture Surface) ของชิ้นงานที่ทดสอบแรงกระแทกจะมีสัดส่วนของพื้นที่ที่เป็นการแตกแบบเปราะ (Brittle Fracture) กับพื้นที่ที่เกิดการแตกแบบเหนียว (Ductile Fracture) เป็น 50:50 พอติ ดังแสดงในรูปที่ 3.7

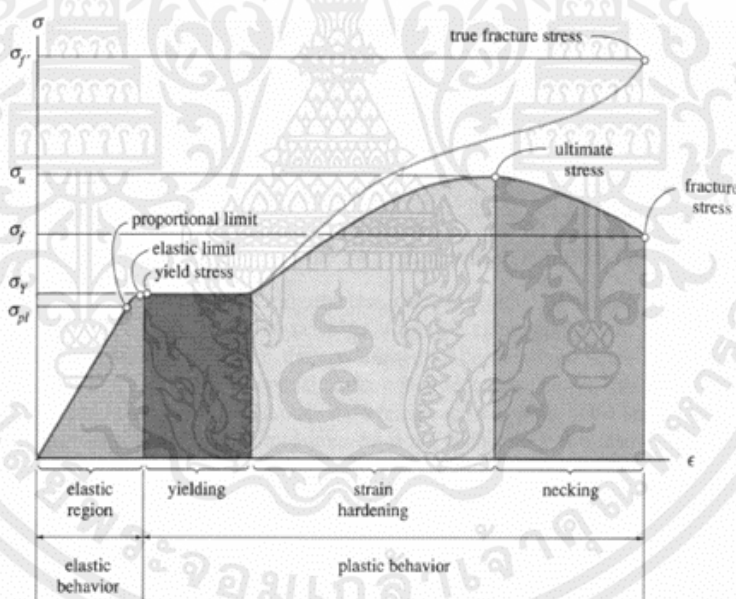


รูปที่ 3.7 ลักษณะพื้นที่รอยแตกแบบเปราะและแบบเหนียวบนชิ้นงานทดสอบแรงกระแทก

3.3 การทดสอบแรงดึง (Tensile Test)

การทดสอบแรงดึงเป็นการทดสอบที่ทำให้ชิ้นงานตกอยู่ในสภาวะการยืด และเป็นการทดสอบที่ทำให้ชิ้นงานที่นำมาทดสอบเกิดการเสียรูปซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงรูปทรงจากแรงที่กระทำ มีวัตถุประสงค์เพื่อวัดคุณสมบัติความต้านทานของวัสดุต่อแรงดึง โดยวัดการเสียรูปจากการวัดขนาดการเปลี่ยนแปลงของชิ้นงานเทียบกับขนาดเริ่มต้นและพฤติกรรมเชิงกลของวัสดุ เช่น ค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) ค่าความเค้นคราก (Yield Strength) และร้อยละการยืดตัวของวัสดุ (Percent Elongation)

การเสียรูปแบ่งเป็นการเสียรูปแบบยืดหยุ่น (Elastic deformation) และแบบถาวร (Plastic deformation) โดยเมื่อวัสดุได้รับแรงดึงและเกิดการเสียรูปแต่สามารถคืนตัวไปยังสภาวะเริ่มต้นได้เมื่อปราศจากแรง เรียกว่าวัสดุมีการเสียรูปแบบยืดหยุ่น (Elastic deformation) ขนาดการเสียรูปแบบยืดหยุ่นของโลหะเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อใดก็ตามที่การเสียรูปของโลหะเกิดขึ้นจำนวนมากจนไม่สามารถกลับไปสู่สภาวะเริ่มต้นได้ เรียกว่าวัสดุมีการเสียรูปแบบถาวร (Plastic deformation) ดังรูปที่ 3.8 ซึ่งแสดงช่วงการเสียรูปแบบ Elastic และ Plastic



รูปที่ 3.8 แสดงช่วงการเสียรูปแบบ Elastic และ Plastic
(ที่มา: “กลศาสตร์วัสดุ” โดย สิทธิชัย แสงอาทิตย์, หน้า 3-3.)

ช่วงการเสียรูปแบบยืดหยุ่น (Elastic deformation) - ช่วงระยะยืดที่แปรผันตรงกับแรงที่กระทำเป็นเส้นตรงเรียกว่า Proportional limit และมีค่าความชันเรียกว่า Modulus of Elastic และเมื่อทำการลดแรงที่กระทำก่อนถึงจุดการเสียรูปถาวรวัสดุจะคืนตัวไปยังสภาวะเริ่มต้น

ช่วงการเสียรูปแบบถาวร (Plastic deformation) – ช่วงที่วัสดุเสียรูปเลยจากจุดการเสียรูปถาวร

ในการทดสอบแรงดึง จะนำชิ้นงานที่ต้องการทดสอบมาดึงอย่างช้าๆ และบันทึกค่าความเค้นและความเครียดที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอแล้วนำมาเขียนกราฟ โดยผลที่ได้เบื้องต้นจากการทดสอบคือกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับระยะทาง ซึ่งสามารถนำมาคำนวณค่าตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องได้ดังนี้

3.3.1 ความเค้น (Stress) และ ความเครียด (Strain)

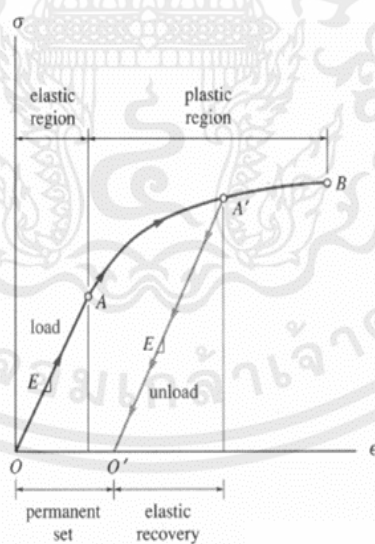
เมื่อโลหะได้รับแรงดึงและมีการเปลี่ยนรูปแบบ Elastic และ Plastic ค่าความสัมพันธ์ของค่าแรงที่กระทำกับชิ้นงานและการยืดตัวที่เป็นเส้นตรง สามารถนำมาคำนวณหาค่าความเค้นทางวิศวกรรม (Engineering stress) และความเครียดทางวิศวกรรม (Engineering strain) รวมถึงความเค้นจริง (True-stress) และความเครียดจริง (True strain) ดังที่แสดงในรูปที่ 3.9 โดยมีความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

สมการความเค้นทางวิศวกรรม (Engineering stress)

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (3.7)$$

สมการความเครียดทางวิศวกรรม (Engineering strain)

$$\epsilon = \frac{L_f - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (3.8)$$



รูปที่ 3.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด
(ที่มา: “กลศาสตร์วัสดุ” โดย สิทธิชัย แสงอาทิตย์, หน้า 3-8.)

3.3.2 ค่าโมดูลัสของยังส์ (Young's modulus, E)

หากเราพิจารณาความสัมพันธ์ของกราฟ และพิจารณาจากกฎของ Robert Hooke จะได้ว่าเมื่อวัสดุมีพฤติกรรมอยู่ในช่วงยืดหยุ่นเชิงเส้น ค่าหน่วยแรง (Stress) จะแปรผันโดยตรงกับค่าความเครียด (Strain) โดยที่

$$\sigma = E\epsilon \quad (3.3)$$

โดยที่ค่า E คือคุณสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุและค่า $E =$ ค่า modulus of elastic หรือ Young's modulus ของวัสดุซึ่งเป็นค่าความชันของ stress-strain curve โดยที่ค่า E จะมีหน่วยเดียวกับหน่วยแรง

3.3.3 ค่าความแข็งแรงแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength, σ_{TS})

การทำให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบถาวรคือการทำให้ชิ้นงานได้รับแรงกระทำอย่างต่อเนื่องจนเลยจุดที่เกิดการ Yield ไปแล้วช่วงนี้โลหะจะมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเรียกว่าการเกิด Strain hardening เมื่อเราให้แรงกระทำอย่างต่อเนื่องกราฟความสัมพันธ์ Stress-Strain จะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดเรียกว่า Ultimate Tensile Strength ซึ่งหมายถึงจุดที่แสดงค่าความแข็งแรงที่มากที่สุดที่วัสดุสามารถรับแรงกระทำได้ หลังจากนั้นพื้นที่ตามภาคตัดขวางของชิ้นงานจะเกิดการคอดลงที่กึ่งกลางชิ้นงานเรียกว่าการเกิด Necking จากนั้นชิ้นงานจะเกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างไม่สม่ำเสมอ และกราฟความสัมพันธ์ Stress-Strain จะลดต่ำลงเนื่องจากพื้นที่ในการรับแรงที่ลดลงจนกระทั่งเข้าสู่ภาวะแตกหัก (Fracture) โดยสามารถหาความแข็งแรงของวัสดุที่จุดแตกหักได้จากความสัมพันธ์

$$\sigma_{fracture} = \frac{P_{fracture}}{A_0} \quad (3.4)$$

3.4 ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence)

ปัญญาประดิษฐ์ เป็นการนำเอากระบวนการคิดวิเคราะห์และการให้เหตุผลแบบมนุษย์มาจำลองใช้กับคอมพิวเตอร์ โดยผ่านการเรียนรู้จากตัวอย่างหรือประสบการณ์โดยจะมีมนุษย์มีส่วนในการออกแบบระบบเท่านั้น จากนั้นระบบกลับกลองสาระสำคัญจากตัวอย่างที่เรียนรู้เอง เมื่อการเรียนรู้เสร็จสิ้นจากตัวอย่าง ระบบที่สร้างขึ้นจะสามารถประมวลผลที่ไม่มีในตัวอย่างได้เอง

การสร้างปัญญาประดิษฐ์ คือการสร้างโมเดลของโปรแกรมซึ่งแตกต่างจากโมเดลของโปรแกรมปกติคือ โปรแกรมปกติจะเริ่มต้นจากการสร้างกฎที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการหาผลลัพธ์ที่ต้องการ ซึ่งมีข้อจำกัดตรงที่ 1 กฎที่สร้างขึ้นจะสามารถวิเคราะห์ได้ 1 เหตุการณ์เท่านั้น ในส่วนของปัญญาประดิษฐ์ โมเดลของโปรแกรมจะเริ่มต้นจากการสร้างผลลัพธ์ที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการหากฎในการตัดสินใจข้อมูลนั้นๆ ทำให้สามารถวิเคราะห์ได้หลากหลายเหตุการณ์

3.4.1 ประเภทของปัญญาประดิษฐ์

หุ่นยนต์ (Robotics) เป็นการสร้างระบบกลไกในการเคลื่อนที่เพื่อใช้งานในลักษณะเฉพาะเหมือนเป็นการสร้างร่างกายให้กับปัญญาประดิษฐ์

การประมวลผลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing) เป็นการจำลองการสื่อสารทางภาษาที่มนุษย์ใช้งาน เช่น เสียงพูด ข้อความ การใช้ตัวอักษร เป็นต้น

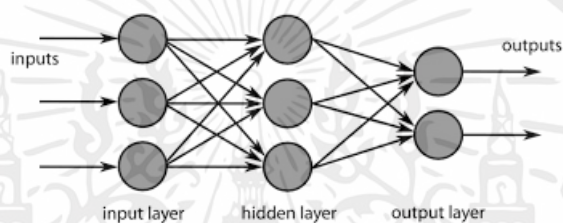
คอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer vision) เป็นการจำลองการมองเห็นของมนุษย์ให้เหมือนเป็นตาของปัญญาประดิษฐ์เพื่อให้สามารถรับรู้สิ่งแวดล้อมจากภาพ

ระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert system) เป็นการสร้างโปรแกรมเพื่อจำลองทักษะและการวิเคราะห์ของผู้เชี่ยวชาญในการทำงานเฉพาะนั้นๆ เพื่อทำงานแทนมนุษย์หรือช่วยประกอบการตัดสินใจ

ทั้ง 4 ประเภทของปัญญาประดิษฐ์จะใช้การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ในการหาผลลัพธ์ แต่มีข้อจำกัดคือไม่สามารถประเมินได้เองว่าการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้นั้นมีความแม่นยำหรือไม่ จึงต้องมีมนุษย์มาช่วยในการประเมิน, แก้ไขหรือตัดสินใจ ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการพัฒนาการเรียนรู้เชิงลึก (Deep learning) ที่สามารถประเมินว่าการวิเคราะห์ที่ได้มีความแม่นยำหรือไม่และสามารถเรียนรู้ข้อมูลอื่นๆ เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการหาผลลัพธ์

3.4.2 การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning)

การเรียนรู้เชิงลึกเป็นประเภทหนึ่งของการเรียนรู้ของเครื่องและกลายเป็นที่นิยมใช้เพราะเมื่อมีการใช้ข้อมูลในการเรียนรู้สำหรับปัญญาประดิษฐ์ที่มีจำนวนเพิ่มขึ้น เช่น จากมีข้อมูล 10,000 ข้อมูลเป็น 100,000 ข้อมูล ความแม่นยำของการเรียนรู้ของเครื่องอาจมีความแม่นยำเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่การเรียนรู้ของการเรียนรู้เชิงลึกจะมีความแม่นยำสูงมากขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถเรียนรู้ข้อมูลอื่นๆ เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการหาผลลัพธ์ มีแนวคิดในการทำงานที่เป็นการจำลองเซลล์สมองของมนุษย์ที่มีลักษณะเป็นโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) โดยวงกลมแต่ละวงเป็นสัญลักษณ์ที่ใช้แทนเซลล์ประสาท (Neuron) และลูกศรเป็นสัญลักษณ์ที่เป็นการเชื่อมต่อของระบบประสาทแต่ละเซลล์



รูปที่ 3.10 การจำลองการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมจากระบบประสาทของมนุษย์

(ที่มา : <https://medium.com/@divyanshuDeveloper/a-simple-animal-classifier-from-scratch-using-keras-61ef0edfcb1f>)

3.4.2.1 ประเภทของการเรียนรู้เชิงลึก

โครงข่ายเส้นประสาทเทียมที่ปรับปรุงตัวหลังการลองผิดลองถูก (Deep Reinforcement Learning) เป็นการให้ปัญญาประดิษฐ์ทำการเรียนรู้เหตุการณ์หนึ่ง โดยจะเป็นการลองผิดลองถูกและทำการจดจำข้อมูลจนกว่าจะได้ผลลัพธ์ที่ผู้ออกแบบต้องการตามเหตุการณ์นั้น

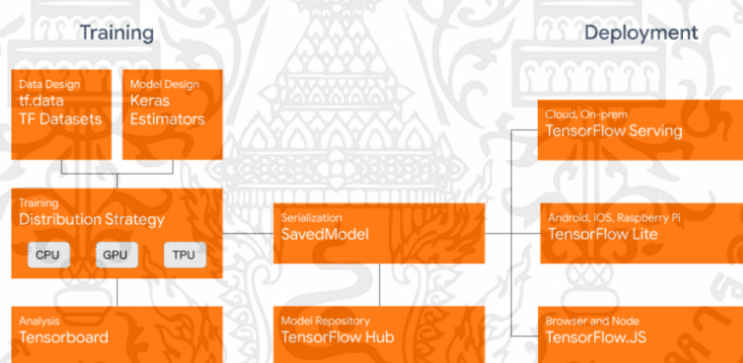
การรู้จำข้อความและการรู้จำเสียงพูด (Recurrent Neural Network) เป็นการเรียนรู้ข้อมูลที่มีเงื่อนไขของเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยการทำนายผลจะมีความเกี่ยวข้องกับลำดับของข้อมูลที่ได้รับก่อนหรือหลัง เช่น ประโยคการพูด เป็นต้น

การสร้างภาพเสมือน, ข้อความเสมือนและเสียงเสมือน (General Adversarial Network) เป็นการให้ปัญญาประดิษฐ์เรียนรู้ข้อมูล แล้วมีการประมวลผลที่เป็นการเติมข้อมูลให้สมบูรณ์ตามที่ผู้ออกแบบต้องการ

การวิเคราะห์ภาพถ่าย (Convolutional Neural Network) เป็นการเรียนรู้ที่ใช้ข้อมูลเป็นรูปภาพในการเรียนรู้ และสามารถทำนายรูปภาพตามหมวดหมู่ที่ผู้ออกแบบได้ทำการออกแบบไว้ โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ Image Classification ที่เป็นการแบ่งประเภทของรูปภาพที่ละรูป และ Object Detection ที่สามารถแบ่งข้อมูลได้หลายข้อมูลภายในรูปภาพเดียวหรือสามารถแบ่งข้อมูลได้จากเวลาในขณะนั้น

3.4.3 เครื่องมือที่ใช้ในการสร้างปัญญาประดิษฐ์ (Platform)

ในการสร้างปัญญาประดิษฐ์ เราไม่จำเป็นต้องมีการออกแบบขั้นตอนวิธีทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการทำงาน (Algorithm) ด้วยตนเองเนื่องจากในปัจจุบันมีเครื่องมือที่ช่วยในการสร้างปัญญาประดิษฐ์อำนวยความสะดวกให้ อาจมีทั้งที่เป็นการเสียค่าใช้จ่ายหรือเป็นโอเพ่นซอร์ส (Open Source) โดยหนึ่งในเครื่องมือที่เป็นโอเพ่นซอร์สและเป็นที่ยอมรับในการใช้งานคือ TensorFlow เนื่องจากสามารถใช้งานได้ง่าย และสามารถนำไปใช้งานได้จนถึงงานวิจัยที่ต้องการคิดค้นสิ่งใหม่ๆ ให้กับวงการปัญญาประดิษฐ์ได้ และใน TensorFlow ยังมีเครื่องมือช่วยถ่ายโอนโมเดลข้ามแพลตฟอร์มไปใช้กับเว็บ, ระบบคลาวด์, มือถือ โดยภาพรวมของสถาปัตยกรรม TensorFlow เป็นดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 สถาปัตยกรรมของ TensorFlow

(ที่มา : <https://medium.com/tensorflow/tensorflow-2-0-is-now-available-57d706c2a9ab>)

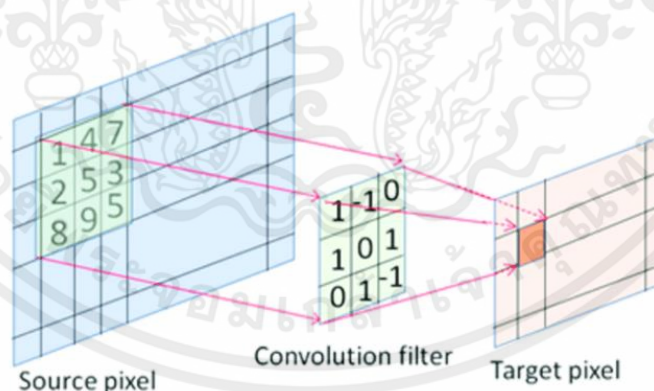
โดยหนึ่งในกระบวนการที่สำคัญคือการเทรน (Training) เป็นการใช้นขั้นตอนทางคณิตศาสตร์จำนวนหนึ่งเพื่อเรียนรู้ข้อมูล แล้วทำการฝึกแยกแยะข้อมูลแต่ละชนิด ตัวอย่างเช่นการฝึกแยกภาพของสุนัขและภาพของแมว เป็นต้น เมื่อตัวปัญญาประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นได้รับฝึกแล้ว ถัดไปจะเป็นการนำไปใช้โดยการให้ข้อมูลใหม่เข้าไปแล้วให้ตัวปัญญาประดิษฐ์ทำการวิเคราะห์และทำนายผล ขั้นตอนนี้เรียกว่าอินเฟอร์เรนซ์ (Inference)

3.4.4 การประมวลผลของปัญญาประดิษฐ์ (Neural Network API)

การเทรนปัญญาประดิษฐ์จะมีหลายสิ่งที่ต้องการโดยที่ TensorFlow จะมีส่วนประมวลผลของปัญญาประดิษฐ์ที่สามารถใช้ได้ 3 วิธี แต่วิธีที่ง่ายที่สุดและมีประสิทธิภาพจะเป็นการใช้ชุดคำสั่งของ Keras ที่เป็น API ระดับสูงที่ทางผู้พัฒนาของ TensorFlow ได้ทำการออกแบบไว้ โดยสามารถเรียกใช้ได้จากคำสั่ง `model = tf.keras.models.Sequential([])` หรืออาจใช้คำสั่ง `model = keras.Sequential()` โดยชุดคำสั่งย่อยที่อยู่ใน `[]` หรือ `()` จะเป็นวิธี, เทคนิคหรือประเภทของการเรียนรู้เชิงลึก เพื่อใช้ในการเรียนรู้หรือประเมินข้อมูลที่เรียนรู้ รวมไปถึงการลดขนาดของข้อมูลโดยยังคงรักษาความถูกต้องของข้อมูลเอาไว้โดยไม่ทำให้การเรียนรู้มีความคลาดเคลื่อน

3.4.5 การตรวจจับคุณลักษณะในรูปภาพ

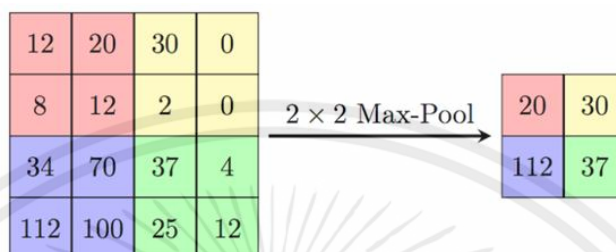
การตรวจจับคุณลักษณะของรูปภาพเป็นการใช้ตัวกรองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Filter) ที่ทำงานกับหน่วยย่อยของภาพ (Pixel) โดยตัวกรองสูตรคณิตศาสตร์เหล่านี้คือ Convolution Filter ซึ่งเป็นการรวมฟังก์ชัน 2 ฟังก์ชันขึ้นไปเข้าด้วยกัน และยังมีให้เลือกใช้ได้หลายขนาด คือ ขนาด 3x3, 5x5 และ 7x7 ซึ่งในการตรวจจับคุณลักษณะของรูปภาพจะเป็นการผสมข้อมูลเมทริกซ์ 2 ชุด คือ หน่วยย่อยของรูปที่ใช้ในการเทรน (Source Pixel) และตัวกรองสูตรคณิตศาสตร์ แล้วกลายเป็นข้อมูลชุดใหม่ (Target Pixel) เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ชัดเจนขึ้น มีขนาดที่เล็กลง ง่ายและเร็วต่อการประมวลผลโดยการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการตรวจจับ จะเรียกว่า Convolutional Neural Network หรือ CNN ซึ่งเป็นประเภทหนึ่งของการเรียนรู้เชิงลึก วิธีการเรียกใช้คำสั่ง คือ `tf.keras.layers.Conv2D()`



รูปที่ 3.12 การกรองข้อมูลด้วย Convolution

(ที่มา : https://www.researchgate.net/figure/Depiction-of-the-convolution-layer-with-a-filter-in-convolutional-neural-network-CNN_fig3_338190342)

นอกจากนี้ ในขั้นตอนของการลดขนาดของข้อมูล นอกจากการใช้ตัวกรองทางคณิตศาสตร์แล้ว ยังมีการใช้การลดขนาดอีกรูปแบบหนึ่ง คือ การรวมกลุ่ม (Max Pooling) โดยจะเป็นการลดขนาดที่เป็น การเลือกหน่วยย่อยของรูปที่มีค่าสูงที่สุดมารวมเข้าด้วยกันเพื่อให้เกิดเป็นรูปใหม่



รูปที่ 3.13 การกรองข้อมูลด้วย Max Pooling

(ที่มา : https://computersciencewiki.org/index.php/Max-pooling/_/Pooling)

โดยขนาดของการรวมกลุ่มที่นิยมใช้จะมีขนาด 2×2 โดยสามารถอธิบายจากภาพ โดยรูปที่ใช้ในการเทรน จะมีทั้งหมด 16 หน่วยย่อย แบ่งออกเป็น 4 สี เมื่อใช้วิธีการรวมกลุ่ม จะมีการเลือกหน่วยย่อยของแต่ละสี ที่มีค่าสูงสุด แล้วทำการรวมหน่วยย่อยของแต่ละสีที่เลือกเอาไว้เป็นรูปใหม่ ซึ่งรูปใหม่ที่ได้จะมีขนาดเล็กลง แต่ยังคงลักษณะของรูปเอาไว้ วิธีการเรียกใช้คำสั่ง คือ `tf.keras.layers.Maxpool2D(2,2)`

3.4.6 โครงสร้างภาพรวมของการตรวจจับคุณลักษณะในรูปภาพ

สามารถตรวจสอบได้โดยใช้คำสั่ง `model.summary` โดยจะได้ข้อมูลเป็นตาราง

```

Model: "sequential"
Layer (type)                Output Shape                Param #
-----
conv2d (Conv2D)              (None, 198, 198, 64)       1792
max_pooling2d (MaxPooling2D) (None, 99, 99, 64)         0
conv2d_1 (Conv2D)            (None, 97, 97, 64)         36928
max_pooling2d_1 (MaxPooling2) (None, 48, 48, 64)         0
conv2d_2 (Conv2D)            (None, 46, 46, 128)        73856
max_pooling2d_2 (MaxPooling2) (None, 23, 23, 128)        0
conv2d_3 (Conv2D)            (None, 21, 21, 128)        147584
max_pooling2d_3 (MaxPooling2) (None, 10, 10, 128)        0
flatten (Flatten)            (None, 12800)              0
dense (Dense)                (None, 512)                6554112
dense_1 (Dense)              (None, 4)                  2052
-----
Total params: 6,816,324
Trainable params: 6,816,324
Non-trainable params: 0

```

รูปที่ 3.14 แสดงตารางโครงสร้างโดยภาพรวมของการตรวจจับคุณลักษณะที่ใช้ในการแบ่งรูปย่อยเชื่อม

จากตาราง รูปที่ให้เข้าไปมีขนาด 200x200 หน่วย เมื่อโดนกรองโดย Convolution Filter ในชั้นแรกขนาด 3x3 จะได้ขนาดของรูปเป็น 198x198 คือเป็นการลดขนาดของรูป 2 หน่วยย่อย แล้วเมื่อกรองด้วย Max Pooling (2,2) ในชั้นที่ 2 ขนาดของรูปจะหายไป 50% หรือก็คือ จากรูปขนาด 198x198 เป็น 99x99 ดังแสดงในรูป แล้วทำซ้ำแบบนี้อีก 6 ครั้งในชั้นถัดไป โดยจากรูปขนาดของรูปสุดท้ายที่ใช้ในการเทรนจะมีขนาด 10x10 หน่วย



บทที่ 4

การดำเนินการทดลอง

4.1 การทดสอบทางกล

4.1.1 การเตรียมรูป

เป็นการเตรียมรูปรอยเชื่อมโดยการที่คณะผู้จัดทำเป็นผู้เชื่อมเอง โดยเลือกการเชื่อมไฟฟ้าและใช้เหล็กแบนหนา 0.6 เซนติเมตร กว้าง 3.81 เซนติเมตร เริ่มจากการจัดซื้อและจัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการเชื่อม ซึ่งรูปที่ 4.1 จะแสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อม รูปที่ 4.2 และ 4.3 จะแสดงการปฏิบัติการเชื่อม หลังจากนั้นจะทำการเชื่อมทั้งแบบที่รอยเชื่อมดีและรอยเชื่อมไม่ดีโดยใช้พื้นที่ของรอยเชื่อมเป็นตัวกำหนด โดยจะให้รอยเชื่อมเต็มมีขนาดความกว้างของรอยเชื่อม 1 เซนติเมตรและความยาว 10 เซนติเมตร ซึ่งจะจัดเตรียมรูปโดยแบ่งเป็น 4 กลุ่มคือรูปที่มีพื้นที่ไม่มีรอยเชื่อม 0-25 เปอร์เซ็นต์ รูปพื้นที่ไม่มีรอยเชื่อม 25-50 เปอร์เซ็นต์ รูปพื้นที่ไม่มีรอยเชื่อม 50-75 เปอร์เซ็นต์ และรูปพื้นที่ไม่มีรอยเชื่อม 75-100 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.1 อุปกรณ์ที่เตรียมสำหรับการเชื่อม



รูปที่ 4.2 ตัดขนาดเหล็กให้ได้ความยาวพอเหมาะสำหรับเชื่อมไฟฟ้า



รูปที่ 4.3 ทำการเชื่อมไฟฟ้าให้ได้รูปทัง 4 ระดับขึ้น

เมื่อได้รอยเชื่อมทั้งแบบดีและรอยเชื่อมไม่ดีแล้วจึงทำการถ่ายรูปชิ้นงานขนาด 10 เซนติเมตร ก่อนจะนำรูปที่ถ่ายได้ไปหาพื้นที่ที่ไม่มีรอยเชื่อมและคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับพื้นที่รอยเชื่อมเต็ม ขนาดความกว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตรโดยใช้โปรแกรม Image J ในการหาพื้นที่และโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่ไม่มีรอยเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 4.4 และตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.4 การใช้โปรแกรม Image J ในการหาพื้นที่ที่ไม่มีรอยเชื่อม

ตารางที่ 4.1 การใช้โปรแกรม Microsoft Excel คัดเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่ไม่มีรอยเชื่อมเทียบกับพื้นที่ที่มีรอยเชื่อมเต็มโดยใช้ข้อมูลที่หาได้จากโปรแกรม Image J

ลำดับ	Label	Area(cm ²)
1	S_57548811.jpg	0.149
2	S_57548811.jpg	0.042
3	S_57548811.jpg	0.08
4	S_57548811.jpg	0.108
5	S_57548811.jpg	0.043
6	S_57548811.jpg	0.301
7	S_57548811.jpg	0.705
8	S_57548811.jpg	0.72
9	S_57548811.jpg	0.192
10	S_57548811.jpg	0.321
11	S_57548811.jpg	0.463
12	S_57548811.jpg	0.154
13	S_57548811.jpg	0.478
พื้นที่ไม่มีรอยเชื่อม		3.756
พื้นที่ทั้งหมด		10
เปอร์เซ็นต์		37.56

การแบ่งพื้นที่โดยการใช้โปรแกรม Image J ทำให้ได้ขนาดพื้นที่คลาดเคลื่อนกับขนาดพื้นที่จริงน้อยที่สุด ซึ่งการมองโดยใช้สายตาไม่สามารถประเมินและแบ่งระดับชั้นได้ละเอียด

4.1.2 ทดสอบแรงดึงและการกระแทกเพื่อนำผลการทดสอบไปใช้แบ่งระดับชั้นเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่ไม่มีรอยเชื่อม

4.1.2.1 การเตรียมชิ้นงาน

เลือกชิ้นงานที่ทำการหาพื้นที่แล้วทั้งสี่ระดับชั้นมาตัดเป็นชิ้นเพื่อนำไปใช้การทดสอบแรงดึงและทดสอบการกระแทก ดังรูป



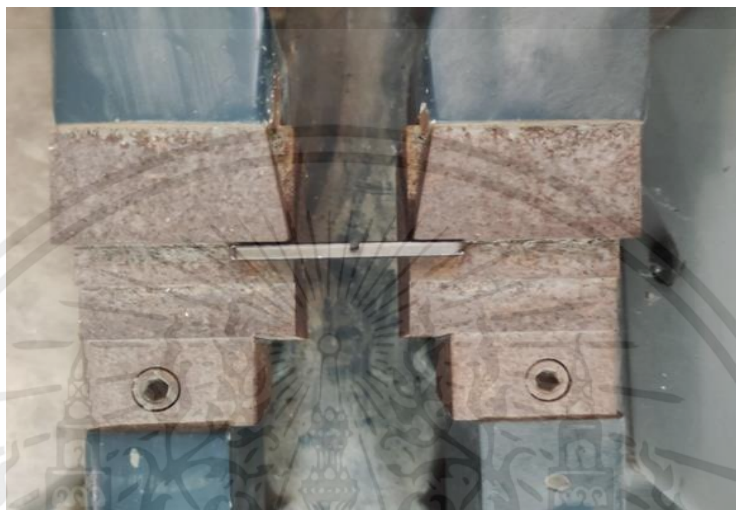
รูปที่ 4.5 ตัวอย่างชิ้นทดสอบของการทดสอบกระแทก



รูปที่ 4.6 ตัวอย่างชิ้นทดสอบของการทดสอบแรงดึง

4.1.2.2 ทดสอบชิ้นงาน

นำชิ้นงานไปทดสอบการกระแทกเพื่อนำผลที่ได้จากการทดสอบมาแบ่งระดับชั้นเปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่ไม่มีรอยเชื่อม



รูปที่ 4.7 รูปตัวอย่างการทดสอบด้วยการทดสอบการกระแทก

4.1.2.3 นำผลการทดสอบมาใช้แบ่งระดับชั้นเปอร์เซ็นต์ที่ไม่มีรอยเชื่อม

โดยชิ้นทดสอบที่รับพลังงานจากการกระแทกได้ประมาณ 8 J หรือใกล้เคียง จะมีเปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่ไม่มีรอยเชื่อม 0-25 เปอร์เซ็นต์ ชิ้นทดสอบที่รับพลังงานจากการกระแทกได้ประมาณ 4 J หรือใกล้เคียงจะมีเปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่ไม่มีรอยเชื่อม 25-50 เปอร์เซ็นต์ ชิ้นทดสอบที่รับพลังงานการกระแทกได้ประมาณ 2 J จะมีพื้นที่ที่ไม่มีรอยเชื่อม 50-75 เปอร์เซ็นต์ และชิ้นทดสอบที่มีพื้นที่ที่ไม่มีรอยเชื่อม 75-100 เปอร์เซ็นต์จะไม่สามารถเตรียมชิ้นทดสอบได้

4.2 การตรวจสอบรอยเชื่อมด้วย Image classification

4.2.1 การเตรียมข้อมูลเพื่อใช้ในการสร้างปัญญาประดิษฐ์

ใช้ Jupyter Notebook ในการสร้างโมเดลของโปรแกรมเพื่อทำการตรวจสอบรูปภาพรอยเชื่อมที่ผ่านการจัด Data set ขึ้นมา โดยเริ่มต้นจากการนำเข้าคลังโปรแกรม (Library) ที่จำเป็นต้องใช้ดังนี้

```

import tensorflow as tf
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import cv2
import os
from tensorflow.keras.preprocessing.image import ImageDataGenerator
from tensorflow.keras.preprocessing import image
from tensorflow.keras.optimizers import RMSprop

```

จากนั้นทดสอบการเรียกข้อมูลที่เตรียมไว้ว่าสามารถเรียกข้อมูลได้หรือไม่โดยใช้คำสั่งโดยคำสั่งในการเรียกข้อมูลของคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องจะไม่เหมือนกัน โดยสามารถตรวจสอบการเรียกข้อมูลได้โดยใช้คำสั่ง `os.getcwd()`

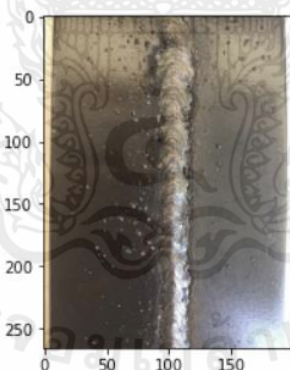
```

img=image.load_img("C:\\Users\\ACER\\Desktop\\5_classes\\training\\0-25\\A5.png")plt.imshow(img)

```

ถ้าข้อมูลสามารถเรียกได้จะแสดงผลออกมาเป็นรูป

Out[3]: <matplotlib.image.AxesImage at 0x28b194512b0>



รูปที่ 4.8 การแสดงผลของการเรียกข้อมูล

ทำการตรวจสอบรายละเอียดของภาพโดยการใช้คำสั่ง

```
cv2.imread("C:\\Users\\ACER\\Desktop\\5_classes\\training\\25-50\\B2.png").shape
```

โดยผลลัพธ์ที่ได้จากคำสั่งนี้จะแสดงออกมาเป็น (266,200,3) โดย 266 และ 200 หมายถึงภาพมีขนาดความยาว 266 พิกเซล มีความกว้าง 200 พิกเซล และภาพมีเฉดสีมากกว่า 1 สี จากนั้น ทำการสร้างตัวแปรเพื่อเก็บข้อมูลที่ต้องการให้โปรแกรมเรียนรู้และตรวจสอบ โดยใช้คำสั่ง

```
train = ImageDataGenerator(rescale = 1/255)
validation = ImageDataGenerator(rescale = 1/255)
```

แต่ถ้าจำนวนข้อมูลที่เอาไว้ใช้ในการเรียนรู้และตรวจสอบมีจำนวนน้อย ในคำสั่ง ImageDataGenerator สามารถเพิ่มจำนวนข้อมูลได้โดยการปรับแต่งภาพจากข้อมูลที่มีอยู่ก่อนโดยใช้คำสั่ง

```
train = ImageDataGenerator(rescale = 1/255,
                           rotation_range=40,
                           width_shift_range=0.2,
                           height_shift_range=0.2,
                           shear_range=0.2,
                           zoom_range=0.2,
                           horizontal_flip=True,
                           fill_mode='nearest')
validation = ImageDataGenerator(rescale = 1/255,
                                rotation_range=40,
                                width_shift_range=0.2,
                                height_shift_range=0.2,
                                shear_range=0.2,
                                zoom_range=0.2,
                                horizontal_flip=True,
                                fill_mode='nearest')
```

จากนั้นทำการกำหนดขนาดของข้อมูลให้เล็กลงเพื่อให้โปรแกรมสามารถเรียนรู้ได้เร็วยิ่งขึ้นและมีการกำหนดข้อมูลที่ต้องการแบ่งออกเป็นกี่ประเภทโดยใช้คำสั่ง

```

train_dataset =
train.flow_from_directory('C:\\Users\\ACER\\Desktop\\5_classes\\training\\',
                           target_size = (200,200),
                           batch_size = 10,
                           class_mode = 'categorical')

validation_dataset =
validation.flow_from_directory('C:\\Users\\ACER\\Desktop\\5_classes\\validation\\',
                               target_size = (200,200),
                               batch_size = 10,
                               class_mode = 'categorical')

```

โดยผลลัพธ์ที่แสดงจะเป็น Found 874 images belonging to 4 classes. คือมีรูปที่ใช้ในการฝึกโปรแกรม จำนวน 874 รูป Found 120 images belonging to 4 classes. และมี 120 รูปที่ใช้ในการเปรียบเทียบผลลัพธ์

4.2.2 การเรียนรู้

นำเอารูปที่จัดเตรียมมาใช้เป็นข้อมูลให้ AI ทำการเรียนรู้ โดยความแม่นยำของโปรแกรมจะแปรผันตรงกับจำนวนรูปที่ AI ได้เรียนรู้ ยิ่งมีจำนวนรูปมากเท่าไรความแม่นยำของโปรแกรมจะมากขึ้น โดยเริ่มจากการสร้างชั้นการกรองของข้อมูลดังนี้

```

model = tf.keras.models.Sequential([ tf.keras.layers.Conv2D(64,(3,3),activation =
'relu',input_shape = (200,200,3)),
                                   tf.keras.layers.MaxPooling2D(2,2),
                                   tf.keras.layers.Conv2D(64,(3,3),activation = 'relu'),
                                   tf.keras.layers.MaxPool2D(2,2),
                                   tf.keras.layers.Conv2D(128,(3,3),activation = 'relu'),
                                   tf.keras.layers.MaxPool2D(2,2),
                                   tf.keras.layers.Conv2D(128,(3,3),activation = 'relu'),
                                   tf.keras.layers.MaxPool2D(2,2),
                                   tf.keras.layers.Flatten(),

```

```
tf.keras.layers.Dense(512,activation = 'relu'),
tf.keras.layers.Dense(4,activation = 'softmax']])
```

สามารถทำการตรวจสอบรายละเอียดของโมเดลได้โดยใช้ชุดคำสั่ง `model.summary()` จากนั้นทำการสร้างชุดคำสั่งเพื่อทำการฝึกโปรแกรมดังนี้

```
model.compile(loss = 'categorical_crossentropy',
              optimizer = RMSprop(lr = 0.0001),
              metrics = ['accuracy'])
History=model.fit(train_dataset, validation_data = validation_dataset,
epochs=30,verbose = 1)
```

ผลลัพธ์ที่ได้จากชุดคำสั่งนี้จะแสดงดังรูป

```
Epoch 1/30
88/88 [=====] - 52s 590ms/step - loss: 1.3281 - accuracy: 0.7523 - val_loss: 1.1402 - val_accuracy:
0.7708
Epoch 2/30
88/88 [=====] - 54s 616ms/step - loss: 0.9408 - accuracy: 0.8175 - val_loss: 0.8532 - val_accuracy:
0.8271
Epoch 3/30
88/88 [=====] - 53s 598ms/step - loss: 0.8006 - accuracy: 0.8252 - val_loss: 0.6687 - val_accuracy:
0.8667
Epoch 4/30
88/88 [=====] - 53s 607ms/step - loss: 0.6979 - accuracy: 0.8398 - val_loss: 0.6660 - val_accuracy:
0.8396
Epoch 5/30
88/88 [=====] - 53s 599ms/step - loss: 0.6680 - accuracy: 0.8438 - val_loss: 0.7169 - val_accuracy:
0.8458
Epoch 6/30
88/88 [=====] - 53s 604ms/step - loss: 0.6401 - accuracy: 0.8561 - val_loss: 1.2214 - val_accuracy:
0.7396
```

รูปที่ 4.9 ปัญหาประติษฐ์กำลังเรียนรู้จากข้อมูลรูปภาพที่ป้อนเข้าไป

เมื่อโปรแกรมทำการเรียนรู้เสร็จ สามารถแสดงผลของข้อมูลเพื่อตรวจสอบความแม่นยำโดยใช้ชุดคำสั่ง `plt.plot(history.history['accuracy'])`

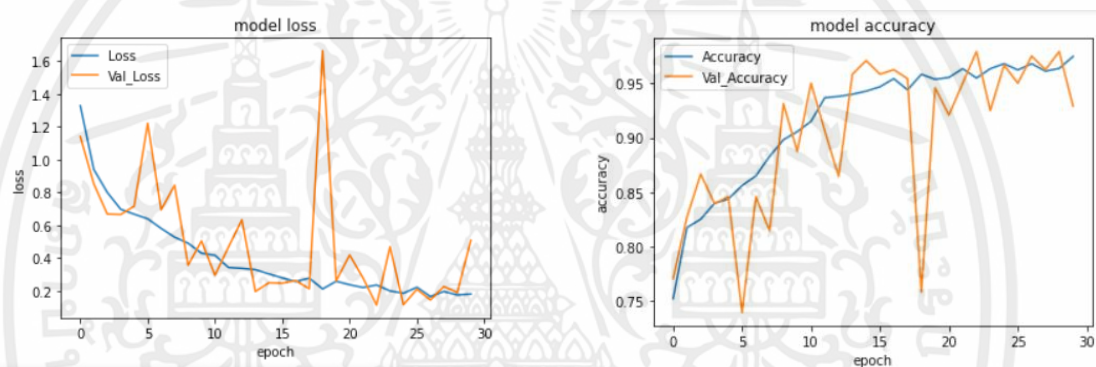
```
plt.plot(history.history['val_accuracy'])
plt.title('model accuracy')
plt.ylabel('accuracy')
plt.xlabel('epoch')
plt.legend(['Accuracy', 'Val_Accuracy'], loc='upper left')
plt.show()
plt.plot(history.history['loss'])
plt.plot(history.history['val_loss'])
```

```

plt.title('model loss')
plt.ylabel('loss')
plt.xlabel('epoch')
plt.legend(['Loss', 'Val_Loss'], loc='upper left')
plt.show()

```

โดยผลลัพธ์ที่ได้จากชุดคำสั่งจะเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความแม่นยำ (Accuracy) และความแม่นยำจากการตรวจสอบ (Validation accuracy) และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสูญเสีย (Loss) และความสูญเสียจากการตรวจสอบ (Validation loss) โดยผลลัพธ์เป็นดังรูปที่ 4.10 โดยที่กราฟที่ได้ควรมีลักษณะที่เส้นสีฟ้าและเส้นสีส้มไปในทิศทางเดียวกัน



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์

4.2.3 ทดสอบระบบ

นำรูปถ่ายที่ไม่ได้ใช้ในการเรียนรู้มาให้ปัญญาประดิษฐ์ทำการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบความแม่นยำ



รูปที่ 4.11 แสดงตัวอย่างรูปรอยเชื่อมดี(มีพื้นที่ที่ไม่มีรอยเชื่อม 0-25 เปอร์เซ็นต์)



รูปที่ 4.12 แสดงตัวอย่างรูปพื้นที่ที่ไม่มีรอยเชื่อม 25-50 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 แสดงตัวอย่างรูปพื้นที่ที่ไม่มีรอยเชื่อม 50-75 เปอร์เซ็นต์



ที่ 4.14 แสดงตัวอย่างรูปพื้นที่ที่ไม่มีรอยเชื่อม 75-100 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการสร้างชุดคำสั่งเพื่อแสดงการประมวลผลของโปรแกรมที่สร้างขึ้น โดยสามารถเขียนชุดคำสั่งเป็น

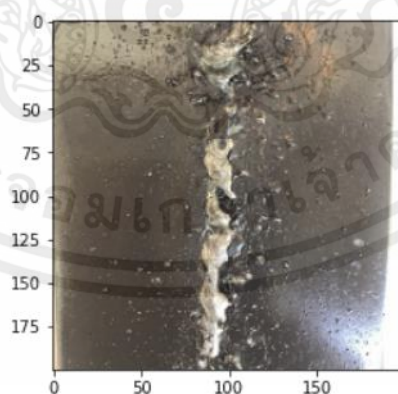
```
dir_path = 'C:\\Users\\ACER\\Desktop\\5_classes\\testing'

for i in os.listdir(dir_path ):
    img = image.load_img(dir_path+'\\'+ i,target_size=(200,200))
    plt.imshow(img)
    plt.show()

    X = image.img_to_array(img)
    X = np.expand_dims(X,axis = 0)

    images = np.vstack([X])
    val = model.predict(images, batch_size=10)
    print(i)
    print(val)
```

โดยผลลัพธ์ที่ได้จากชุดคำสั่งนี้จะแสดงเป็นรูป, ชื่อของรูปและประเภทของรูป โดยการบอกจะแสดงเป็น [[1. 0. 0. 0.]] หมายถึงรอยเชื่อมนี้มีเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่ไม่มีรอยเชื่อม 0-25 เปอร์เซ็นต์ [[0. 1. 0. 0.]] หมายถึงรอยเชื่อมนี้มีเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่ไม่มีรอยเชื่อม 25-50 เปอร์เซ็นต์ [[0. 0. 1. 0.]] หมายถึงรอยเชื่อมนี้มีเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่ไม่มีรอยเชื่อม 50-75 เปอร์เซ็นต์ [[0. 0. 0. 1.]] หมายถึงรอยเชื่อมนี้มีเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่ไม่มีรอยเชื่อม 75-100 เปอร์เซ็นต์



51.4.png
[[0. 0. 1. 0.]]

รูปที่ 4.15 แสดงตัวอย่างของผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดสอบด้วยการทดสอบการกระแทก (Impact Test)

เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่ไม่มีรอยเชื่อม	ลำดับชั้นทดสอบ	พลังงานการกระแทก(J)
0-25	1	12
	2	4
	3	5
	4	11
	5	9
	6	8
	7	9
25-50	1	4
	2	2
	3	4
	4	3
	5	4
	6	6
	7	6
50-75	1	5
	2	5
	3	3
	4	0
	5	3
	6	4
	7	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดสอบด้วยการทดสอบการกระแทกพบว่าชิ้นทดสอบที่เป็นเปอร์เซ็นต์ไม่มีพื้นที่รอยเชื่อมน้อยจะสามารถทนต่อพลังงานการกระแทกได้มากกว่าชิ้นทดสอบที่มีเปอร์เซ็นต์ไม่มีรอยเชื่อมเยอะ โดยที่ชิ้นทดสอบที่มีเปอร์เซ็นต์พื้นที่ส่วนที่ไม่มีรอยเชื่อม 75-100 เปอร์เซ็นต์ไม่สามารถนำมาทดสอบได้เนื่องจากชิ้นทดสอบเกิดความเสียหายตั้งแต่กระบวนการเตรียมชิ้นทดสอบ ซึ่งสอดคล้องกับการหาพื้นที่โดยใช้โปรแกรม Image J เพื่อทำการแบ่งระดับชั้นและสมมติฐานที่ตั้งไว้ว่าระดับชั้นที่มีเปอร์เซ็นต์น้อยจะสามารถรับแรงได้มากและระดับชั้นที่มีเปอร์เซ็นต์มากจะรับแรงได้น้อย

ตารางที่ 5.2 แสดงรายละเอียดการทดสอบด้วยการทดสอบแรงดึง (Tensile Test)

Test File Name	w_12.xtak	Method File Name	Tensile test_plate project.xmak
Report Date	21/4/2565	Test Date	21/4/2565
Test Mode	Single	Test Type	Tensile
Speed	50 mm/min	Shape	Plate




ตารางที่ 5.3 แสดงผลการทดสอบด้วยการทดสอบแรงดึง (Tensile Test)

เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่ไม่มีรอยเชื่อม (%)	ลำดับชิ้นทดสอบ	แรงที่มากที่สุดที่ทำให้ชิ้นทดสอบเกิดความเสียหาย (N)
0-25	1	34418.2
	2	43246.2
	3	34304.9
25-50	4	5471.52
	5	14754.5
	6	26587.4
50-75	7	11708.6
	8	9852.73
	9	3525.78




เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่ไม่มีรอยเชื่อม (%)	ลำดับชั้นทดสอบ	แรงที่มากที่สุดที่ทำให้ชั้นทดสอบเกิดความเสียหาย (N)
75-100	10	7744.50
	11	7502.89
	12	8328.18

จากตารางที่ 5.3 แสดงผลการทดสอบแรงดึงพบว่าชั้นทดสอบที่อยู่ในระดับชั้นเปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่ไม่มีรอยเชื่อม 0-25 เปอร์เซ็นต์สามารถทนต่อแรงดึงได้ดีที่สุดและ 75-100 เปอร์เซ็นต์ทนต่อแรงดึงได้น้อยที่สุด ซึ่งตรงกับการหาพื้นที่โดยใช้โปรแกรม Image J เพื่อแบ่งระดับชั้นและสมมติฐานที่ตั้งไว้ว่าระดับชั้นที่มีเปอร์เซ็นต์น้อยจะรับแรงได้มาก และระดับชั้นที่มีเปอร์เซ็นต์มากจะรับแรงได้น้อย




ตารางที่ 5.4 แสดงผลการทดสอบรูปภาพจำนวน 50 รูปโดยใช้ Image Classification เปรียบเทียบกับพื้นที่จริงที่หาโดยโปรแกรม Image J

ลำดับที่	รูปที่ใช้ตรวจสอบ	เปอร์เซ็นต์พื้นที่ ที่ผิดปกติ	ช่วงที่ ปัญญาประดิษฐ์ ตรวจสอบได้	ถูก/ผิด
1		59.63	50-75	ถูก
2		56.37	25-50	ผิด
3		91.15	75-100	ถูก




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	รูปที่ใช้ตรวจสอบ	เปอร์เซ็นต์พื้นที่ ที่ผิดปกติ	ช่วงที่ ปัญหาประดิษฐ์ ตรวจสอบได้	ถูก/ผิด
4		41.98	50-75	ผิด
5		15.94	0-25	ถูก
6		75.51	50-75	ผิด




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	รูปที่ใช้ตรวจสอบ	เปอร์เซ็นต์พื้นที่ ที่ผิดปกติ	ช่วงที่ ปัญหาประดิษฐ์ ตรวจสอบได้	ถูก/ผิด
7		68.2	50-75	ถูก
8		42.47	50-75	ถูก
9		48.41	50-75	ผิด




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	รูปที่ใช้ตรวจสอบ	เปอร์เซ็นต์พื้นที่ ที่ผิดปกติ	ช่วงที่ ปัญหาประดิษฐ์ ตรวจสอบได้	ถูก/ผิด
10		43.42	50-75	ผิด
11		23.65	0-25	ถูก
12		91.98	50-75	ผิด




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	รูปที่ใช้ตรวจสอบ	เปอร์เซ็นต์พื้นที่ ที่ผิดปกติ	ช่วงที่ ปัญหาประดิษฐ์ ตรวจสอบได้	ถูก/ผิด
13		46.33	50-75	ผิด
14		53.92	50-75	ถูก
15		47.28	50-75	ผิด




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	รูปที่ใช้ตรวจสอบ	เปอร์เซ็นต์พื้นที่ ที่ผิดปกติ	ช่วงที่ ปัญหาประติษฐ์ ตรวจสอบได้	ถูก/ผิด
16		29.9	0-25	ผิด
17		22.47	0-25	ถูก
18		7.1	0-25	ถูก




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	รูปที่ใช้ตรวจสอบ	เปอร์เซ็นต์พื้นที่ ที่ผิดปกติ	ช่วงที่ ปัญหาประดิษฐ์ ตรวจสอบได้	ถูก/ผิด
19		7.12	0-25	ถูก
20		28.32	25-50	ถูก
21		13.58	0-25	ผิด




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	รูปที่ใช้ตรวจสอบ	เปอร์เซ็นต์พื้นที่ ที่ผิดปกติ	ช่วงที่ ปัญหาประดิษฐ์ ตรวจสอบได้	ถูก/ผิด
22		20.21	0-25	ผิด
23		41.45	0-25	ผิด
24		29.39	25-50	ถูก




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	รูปที่ใช้ตรวจสอบ	เปอร์เซ็นต์พื้นที่ ที่ผิดปกติ	ช่วงที่ ปัญหาประติษฐ์ ตรวจสอบได้	ถูก/ผิด
25		9.61	0-25	ถูก
26		25.56	0-25	ผิด
27		23.24	0-25	ถูก




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	รูปที่ใช้ตรวจสอบ	เปอร์เซ็นต์พื้นที่ ที่ผิดปกติ	ช่วงที่ ปัญหาประดิษฐ์ ตรวจสอบได้	ถูก/ผิด
28		8.22	0-25	ถูก
29		8.69	25-50	ผิด
30		17.54	0-25	ถูก




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	รูปที่ใช้ตรวจสอบ	เปอร์เซ็นต์พื้นที่ ที่ผิดปกติ	ช่วงที่ ปัญหาประดิษฐ์ ตรวจสอบได้	ถูก/ผิด
31		27.62	0-25	ผิด
32		37.44	25-50	ถูก
33		49.21	0-25	ผิด




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	รูปที่ใช้ตรวจสอบ	เปอร์เซ็นต์พื้นที่ ที่ผิดปกติ	ช่วงที่ ปัญหาประดิษฐ์ ตรวจสอบได้	ถูก/ผิด
34		67.55	50-75	ถูก
35		80.2	50-75	ผิด
36		49.1	50-75	ผิด




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	รูปที่ใช้ตรวจสอบ	เปอร์เซ็นต์พื้นที่ ที่ผิดปกติ	ช่วงที่ ปัญหาประติษฐ์ ตรวจสอบได้	ถูก/ผิด
37		45.5	25-50	ถูก
38		63.3	50-65	ถูก
39		50.65	50-65	ถูก




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	รูปที่ใช้ตรวจสอบ	เปอร์เซ็นต์พื้นที่ ที่ผิดปกติ	ช่วงที่ ปัญหาประดิษฐ์ ตรวจสอบได้	ถูก/ผิด
40		52.94	25-50	ผิด
41		39.91	25-50	ถูก
42		33.57	25-50	ถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	รูปที่ใช้ตรวจสอบ	เปอร์เซ็นต์พื้นที่ ที่ผิดปกติ	ช่วงที่ ปัญหาประดิษฐ์ ตรวจสอบได้	ถูก/ผิด
43		39.87	0-25	ผิด
44		45.92	0-25	ผิด
45		74.65	0-25	ผิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	รูปที่ใช้ตรวจสอบ	เปอร์เซ็นต์พื้นที่ ที่ผิดปกติ	ช่วงที่ ปัญหาประติษฐ์ ตรวจสอบได้	ถูก/ผิด
46		21.93	0-25	ถูก
47		25.8	25-50	ถูก
48		28.48	0-25	ผิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	รูปที่ใช้ตรวจสอบ	เปอร์เซ็นต์พื้นที่ ที่ผิดปกติ	ช่วงที่ ปัญหาประติษฐ์ ตรวจสอบได้	ถูก/ผิด
49		32.62	0-25	ผิด
50		52.07	0-25	ผิด

จากตารางที่ 5.4 คือผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ของปัญหาประติษฐ์ ที่ใช้ชุดทดสอบเป็นรูปรอยเชื่อมของทั้ง 4 ระดับชั้นคละกันเป็นจำนวน 50 รูป ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจสอบพบว่าปัญหาประติษฐ์สามารถตรวจสอบถูกต้องเป็นจำนวน 25 รูปและตรวจสอบผิดพลาดจำนวน 25 รูป จึงได้ข้อสรุปว่าความแม่นยำจากการตรวจสอบโดยใช้ชุดทดสอบชุดนี้คิดเป็น 50 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 6

สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดสอบการกระแทกและการทดสอบแรงดึงทำให้จัดระดับชั้นเปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่ไม่มีรอยเชื่อมได้เป็น 4 ระดับชั้นที่สามารถรับแรงได้ต่างกัน โดยระดับชั้นเปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่ไม่มีรอยเชื่อม 0-25 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับพื้นที่รอยเชื่อมเต็มคือขนาดความกว้างรอยเชื่อม 1 เซนติเมตรและความยาว 10 เซนติเมตร ในการทดสอบทั้งการทดสอบการกระแทกและการทดสอบแรงดึงถือเป็นรอยเชื่อมดีที่สามารถรับแรงได้ดีที่สุดในขณะเดียวกันระดับชั้นเปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่ไม่มีรอยเชื่อม 75-100 เปอร์เซ็นต์สามารถรับแรงดึงได้น้อยที่สุด และเกิดการเสียหายของชิ้นทดสอบตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานเพื่อนำไปทดสอบการกระแทก ดังนั้นจึงสร้างให้ AI ได้เรียนรู้ข้อมูลรูปภาพที่เตรียมไว้ทั้งหมด 4 ระดับชั้นคือ 0-25, 25-50, 50-75 และ 75-100 เปอร์เซ็นต์โดยเรียงจากความแข็งแรงที่ได้จากการทดสอบจากมากไปน้อยตามลำดับจำนวน 800 รูป และเมื่อทำการทดสอบจำนวน 50 รูปพบว่า AI สามารถตรวจสอบได้แม่นยำจำนวน 25 รูป คิดเป็น 50 เปอร์เซ็นต์ และตรวจสอบได้อย่างแม่นยำในช่วงระดับชั้น 0-25 เปอร์เซ็นต์ และตรวจสอบผิดพลาดมากในช่วงของ 25-50 เปอร์เซ็นต์และ 50-75 เปอร์เซ็นต์

6.2 อภิปรายผล

1. การแบ่งระดับชั้นเปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่ไม่มีรอยเชื่อมมีการแบ่งอย่างสอดคล้องกับผลการทดสอบแรงดึงและการทดสอบการกระแทก
2. การจำลองสร้าง AI ด้วยกระบวนการเรียนรู้เชิงลึก (Deep learning) จำเป็นต้องใช้ข้อมูลรูปภาพจำนวนมากเพื่อให้โปรแกรมแม่นยำ เนื่องจากการทดลองพบว่าจำนวนภาพที่ใช้เป็นข้อมูลจำนวน 800 รูปก็ยังไม่สามารถทำให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำ
3. ผลลัพธ์ในการใช้ AI ที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้ตรวจสอบชิ้นงานเชื่อมตามรอยเชื่อมสันนูนตามยาวได้เพียงเบื้องต้นเท่านั้นเนื่องจากข้อจำกัดเรื่องความหลากหลายของข้อมูลรูปภาพ
4. การใช้โปรแกรม Image J ในการวัดพื้นที่ทำให้เกิดความผิดพลาดได้ในช่วงระหว่างการแบ่งชั้น

6.3 ข้อเสนอแนะ

1. AI ที่ได้ทำการสร้างขึ้นสามารถจำแนกระดับชั้นได้เพียง 4 ระดับคือ 0-25, 25-50, 50-75 และ 75-100 เปอร์เซ็นต์
2. AI ที่สร้างขึ้นสามารถวิเคราะห์เบื้องต้นได้เพียงรอยเชื่อมสันนูนตามยาวในรูปขนาดความกว้าง 7.62 เซนติเมตรและความยาว 10 เซนติเมตร
3. AI มีการทำนายผิดพลาดจำนวนมากในช่วงที่เป็นขอบของเกณฑ์การใช้แบ่งแยกระดับชั้น
4. AI สามารถเพิ่มความแม่นยำในการทำนายผลได้ด้วยการเพิ่มข้อมูลรูปภาพให้ AI ได้เรียนรู้
5. ผลการทำนายของ AI ที่มีความแม่นยำ 50 เปอร์เซ็นต์เกิดจากการทดสอบจากรูปภาพ 50 รูปนี้เท่านั้น
6. ลวดเชื่อมและเหล็กที่ใช้ในการเรียนรู้ของ AI เป็นชนิดเดียวกันทั้งหมดถ้านำ AI ไปตรวจสอบกับเหล็กหรือรอยเชื่อมที่นอกเหนือจากโครงการที่ได้จัดทำอาจทำให้มีผลการทำนายผิดพลาด

บรรณานุกรม

- AIAT. **What is Deep Learning?**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :
<https://www.youtube.com/watch?v=iJq8lLbmcLU> . (วันที่ค้นข้อมูล 28 พฤษภาคม 2565).
- C. Schwenk and M. Rethmeier (2011). **Material Properties for Welding Simulation Measurement, Analysis, and Exemplary Data**.
 Government of Western Australia(2008). **Basic Manual Metal Arc Welding(MMAW), Learning Resource, Metals and Engineering**, ISBN: 978-1-74205-048-5, Department of Training and Workforce Development.
- J. N. Dupont and A. R. Marder (1995). **Thermal Efficiency of Arc Welding Processes**.
 Kita Shinagawa and Shinagawa Ku, Tokyo 141-8688 Japan(2015). **The ABC's of Arc Welding and Inspection**, KOBE STEEL, LTD.
- Laurence Moroney. 2021. **AI and Machine Learning for Coders**.
- Stan A David and Tarasankar Debroy (1992). **Current Issues and Problems in Welding Science**.
- TensorFlow. **แบบจำลองลำดับ**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :
https://www.tensorflow.org/guide/keras/sequential_model. (วันที่ค้นข้อมูล : 28 พฤษภาคม 2565).
- นัศพชาณณ ชินปญชชนะ (2552). **การจำแนกความหมายของภาพโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม**.
 ปรินญา สงวนสัจย์. 2562. **Artificial Intelligence with Machine Learning**. นนทบุรี:
 ไอทีซี พรีเมียร์.
- วิฑูรย์ สิมะโชคดี และวีรพงษ์ เฉลิมจิระรัตน์. 2563. **วิศวกรรมและการบริหารความปลอดภัยใน
 โรงงาน**. พิมพ์ครั้งที่ 39. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น).
- สิทธิชัย แสงอาทิตย์. **กลศาสตร์วัสดุ**. นครราชสีมา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- อรรถพล ตะระะ. 2551. **คุณสมบัติและการทดสอบวัสดุ**. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- อนุวัฒน์ และประกาศิต. **เอกสารประกอบการเรียนวิชา InE191 Engineering Material**. กรุงเทพฯ
 : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.