

การศึกษาการทำนายการเสียรูปของเพลาทรงกระบอกด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก
STUDY OF CYLINDER SHAFT FAILURE PREDICTION USING DEEP LEARNING
METHOD



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาการทำนายการเสียรูปของเพลาทรงกระบอกด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก

STUDY OF CYLINDER SHAFT FAILURE PREDICTION USING DEEP LEARNING

METHOD



พาวัญย์ ทองมัน
ศุภกร วิโรจน์เตชะ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY OF CYLINDER SHAFT FAILURE PREDICTION USING DEEP LEARNING
METHOD



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

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2564

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาการทำนายการเสียรูปของเพลาทรงกระบอกด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก

Study of cylinder shaft failure prediction using deep learning method

ผู้จัดทำ

1. นางสาวพาขวัญ ทองมัน รหัสประจำตัว 61010730
2. นายศุภกร วิโรจน์เดชะ รหัสประจำตัว 61011032

(ผศ.ดร.เอกพจน์ ตันตราภิวรรณ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาการทำนายการเสียรูปของเพลาทรงกระบอกด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก

นางสาวพาขวัญ ทองมัน 61010730

นายศุภกร วิโรจน์เดชะ 61011032

ผศ.ดร.เอกพจน์ ตันตราภวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2564

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีการใช้เพลาในหลายอุตสาหกรรม ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะถูกแรงบิดที่เป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดความเสียหายของเพลา การบำรุงรักษาจึงเป็นส่วนสำคัญในการป้องกันอุบัติเหตุทั้งยังยืดอายุการใช้งานของเพลา อย่างไรก็ตามหนึ่งปัจจัยที่ทำให้การทำงานของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ขัดข้องก็คือ ผู้ทำการซ่อมบำรุงขาดความชำนาญหรือความรู้ความเข้าใจในการทำงานของชิ้นส่วนหรือเครื่องจักรนั้นๆ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงได้ใช้วิธี Deep Learning ช่วยในการบอกถึงบริเวณที่จะเกิดความเสียหายบนเพลาก่อนบริเวณอื่น โดยเฉพาะกับ eccentric shaft ที่มีรูปร่างไม่เหมือนเพลาทัวไปที่ต้องใช้ความรู้และประสบการณ์ โดยจะวิเคราะห์ความเข้มของความเค้นของแบบจำลองเพลาที่เกิดจากแรงบิด แล้วบันทึกรูปทั้งของแบบจำลองและแบบจำลองที่วิเคราะห์แล้วนำไปฝึกฝนกับโมเดล Machine Learning จนได้โมเดลที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด โดยเกณฑ์การวัดประสิทธิภาพจะดูจาก mAP_0.5, precision, recall, loss โดยคำนึงถึงค่า mAP_0.5 เป็นหลักที่ควรมากกว่า 90% สำหรับนำไปใช้งาน

STUDY OF CYLINER SHAFT FAILURE PREDICTION USING DEEP LEARNING METHOD

Phakhwan Thongman 61010730

Supakorn Virojtecha 61011032

Asst. Prof. Dr. Aekapot Tantrapiwat Advisor

Year 2564

ABSTRACT

Shafts are currently used in many industries. Most of them are subjected to torsional force, which is one of the causes of failure of shaft. Therefore, maintenance is playing an important role of preventing severe accident and extending lifetime of shaft. However, one of the factors that can cause a malfunction of a machine or equipment is the maintenance staff lacks the expertise and understanding in the operation of the parts or machines. To solve this problem, Deep learning methods are used to identify area of the shaft that will fail first, especially for eccentric shaft that has bizarre shape, which requires both knowledge and experience. The torsional stress concentration of the shaft model will be analyzed. Then, we will collect images of both the model and the analyzed model and train them with machine learning model until the best performing model is obtained. The benchmarks of model are based on mAP_0.5, precision, recall, loss and we mainly consider mAP_0.5, which should be more than 90% for further use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้จะสำเร็จไม่ได้หากขาดบุคคลที่คอยสนับสนุนอย่าง ผศ.ดร. เอกพจน์ ตันตราภวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางแก้ไขปัญหา ทุ่มเททั้งเวลาและความสามารถ เพื่อความรู้ความเข้าใจตลอดการดำเนินงานจนเกิดเป็นปริญญานิพนธ์เล่มนี้

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่มอบสิ่งดี ๆ ตลอดการทำงาน ไม่ว่าจะเป็น เป็น บรรยากาศที่ดี บ้านที่ดี ความสัมพันธ์ที่ดี และอาหารที่ดี

ข้าพเจ้าขอขอบคุณแม่บุญธรรมที่คอยช่วยสนับสนุนเรื่องค่าใช้จ่ายส่วนตัว ถึงแม้ไม่มากแต่ก็ทำให้ข้าพเจ้านั้นเดินหน้าต่อไปได้โดยไม่ต้องกังวลหลายเรื่อง

ข้าพเจ้าขอขอบคุณสถานที่ Club House Royce ที่ให้บรรยากาศที่ดีในการทำงาน ซึ่งทำให้ข้าพเจ้ามีสมาธิในการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ให้สมบูรณ์มากขึ้น

ข้าพเจ้าขอขอบใจน้องออโต้ที่คอยสร้างสีสันและกำลังใจในการทำงาน

ข้าพเจ้าขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานที่คอยช่วยรวบรวมข้อมูลจากหลายแหล่ง จนทำให้การทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้มีข้อมูลที่ครบถ้วน

ข้าพเจ้าขอขอบคุณเพื่อนแลกเปลี่ยนความเห็น ประสบการณ์ และความรู้ซึ่งกันและกัน ทำให้งานของข้าพเจ้านั้นมีความสมบูรณ์มากขึ้น

นางสาวพาขวัญ ทองมัน

นายศุภกร วิโรจน์เตชะ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
รายการสัญลักษณ์คำย่อ.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	1
1.4 แผนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้จากการวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 การบิดบนเพลาทรงกระบอก (Torsion).....	4
2.1.1 ความเค้นเฉือนหรือความเค้นบิด (Torsional stress).....	5
2.1.2 ความเข้มข้นของความเค้น (Stress concentration).....	7
2.1.3 ตัวประกอบความเค้นบิด (Torsional stress concentration factor).....	7
2.1.4 โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้ว (Polar moment of inertia).....	13
2.1.5 Von Mises stress.....	14
2.2 Machine Learning & Deep Learning.....	15
2.3 โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Networks).....	17
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	20
3.1 การสร้างแบบจำลองด้วย Ansys.....	22
3.1.1 การตั้งค่าทำงาน.....	22
3.1.2 การสร้างแบบจำลอง.....	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 การวิเคราะห์แบบจำลอง.....	23
3.2 การเก็บชุดข้อมูล.....	25
3.2.1 ชุดข้อมูลรูปที่ใช้ในการฝึกฝนและทดสอบโมเดล.....	25
3.2.2 ชุดข้อมูลรูปในการทำ Annotation.....	26
3.2.3 การเพิ่มชุดข้อมูลด้วย Roboflow.....	27
3.2.4 ชุดข้อมูลสำหรับให้โมเดลทำนาย.....	27
3.3 Annotation และขั้นตอนการทำ.....	28
3.4 การฝึกฝนและทดสอบข้อมูล.....	30
3.4.1 การแบ่งชุดข้อมูลสำหรับฝึกฝนและทดสอบ.....	30
3.4.2 YOLOv5.....	30
3.4.3 ขั้นตอนการฝึกฝนและทดสอบข้อมูลด้วย YOLOv5 บน Google Colab.....	31
3.5 การทำนายบริเวณที่เกิดความเข้มของความเค้นบนเพลาด้วยโมเดลที่ฝึกฝนและทดสอบแล้ว.....	35
บทที่ 4 อภิปรายผล.....	37
4.1 โมเดลที่ฝึกฝนและทดสอบด้วยข้อมูลรูป 400 รูป (โมเดลที่ 1).....	37
4.1.1 ประสิทธิภาพของโมเดล.....	38
4.1.2 ผลจากการทำนาย.....	39
4.2 เพิ่มข้อมูลและเพิ่มขั้นตอนการฝึกฝนและทดสอบของโมเดล (โมเดลที่ 2).....	40
4.2.1 ประสิทธิภาพของโมเดล.....	40
4.2.2 ผลจากการทำนาย.....	42
4.3 โมเดลที่ถูกปรับปรุงข้อมูลและโค้ดคำสั่ง (โมเดลที่ 3).....	42
4.3.1 ประสิทธิภาพของโมเดล.....	43
4.3.2 ผลจากการทำนาย.....	44
4.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดล.....	45
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	46
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	46
5.2 วิจารณ์ผลของประสิทธิภาพโมเดล.....	46
5.3 ปัญหาที่พบ.....	46
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	48

ภาคผนวก.....	51
เอกสารอ้างอิง.....	78



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ค่าสำหรับวัดประสิทธิภาพของโมเดลที่ 1.....	38
4.2 รายละเอียดการฝึกฝนและทดสอบข้อมูลของโมเดล 4 รอบ.....	40
4.3 ค่าสำหรับวัดประสิทธิภาพของโมเดลที่ 2.....	40
4.4 ค่าสำหรับวัดประสิทธิภาพของโมเดลที่ 3.....	43
4.5 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลที่ 1, 2, และ 3.....	45
4.6 ตารางค่าวัดประสิทธิภาพของโมเดลที่ 2 และ 3 เปรียบเทียบกับโมเดลที่ 1.....	45



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 มุมของการบิด.....	4
2.2 ช่องที่ถูกเลื่อนตามการบิดจนเกิดมุมของความเครียดเฉือน.....	4
2.3 มุมของความเครียดเฉือนจากรูปที่ 2.2 จะมีค่าเท่ากับมุมที่เกิดจากความยาวของเพลลา.....	5
ถูกเลื่อนตามแนวการบิด.....	5
2.4 ความเค้นเฉือนที่กระทำบนหน้าตัดของเพลลาที่พื้นที่ขนาดเล็ก ณ ตำแหน่งต่างๆ.....	6
2.5 เพลลาที่มีร่องกลมซ้อนกัน 2 ชั้น.....	8
2.6 กราฟแสดงค่าตัวประกอบของความเค้นบิดสำหรับแท่งวัสดุหน้าตัดรูปวงกลมที่มีร่องรูปทรง U.....	8
2.7 กราฟแสดงค่าตัวประกอบของความเค้นบิดสำหรับแท่งวัสดุหน้าตัดรูปวงกลมที่มีร่องรูปทรง U.....	9
2.8 กราฟแสดงค่าตัวประกอบของความเค้นบิดสำหรับแท่งวัสดุหน้าตัดรูปวงกลมที่มีร่องตื้นรูปทรง U.....	9
2.9 กราฟแสดงค่าตัวประกอบของความเค้นบิดสำหรับแท่งวัสดุหน้าตัดรูปวงกลม.....	10
ที่มีร่องแบบพื้นเรียบ10.....	10
2.10 กราฟแสดงค่าตัวประกอบความเค้นบิดสำหรับเพลลาที่มี fillet.....	10
2.11 กราฟแสดงค่าตัวประกอบความเค้นบิดสำหรับเพลลาที่มี fillet.....	11
2.12 กราฟแสดงค่าตัวประกอบความเค้นบิดสำหรับท่อหรือบาร์หน้าตัดรูปวงกลมที่มีรูขวางกัน.....	12
2.13 กราฟแสดงค่าตัวประกอบความเค้นบิดสำหรับเพลลาที่มีร่องสามสลัก.....	13
ปลายด้านหนึ่งเป็นครึ่งวงกลม.....	13
2.14 โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วของหน้าตัดเพลลาต่างๆ.....	14
2.15 Plane stress ของ Von Mises stress และ Maximum shear stress.....	15
2.16 เวนไดอแกรมแสดงความสัมพันธ์ของ AI, ML, และ Deep Learning.....	16
2.17 โครงสร้างการทำงานของ Convolutional Neural Networks (CNN)	17
2.18 ตัวอย่าง Input และ Filter.....	17
2.19 การสร้างฟังก์ชันลักษณะด้วย Input และ ตัวกรอง.....	18
2.20 เลื่อนตัวกรองไปบน Input เพื่อสร้างฟังก์ชันลักษณะ.....	18
2.21 การซ้อนกันของฟังก์ชันลักษณะจากตัวกรองที่แตกต่างกัน.....	18
2.22 การทำ Pooling.....	19
3.1 แผนงานแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน.....	21
3.2 เลือก Static Structural ทางแถบด้านขวามือหน้าต่าง Workbench.....	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 เลือก Engineering data แล้วเลือกวัสดุที่ใช้เป็นเหล็กกล้าไร้สนิม.....	22
3.4 เข้าไปที่ Geometry ของงานที่ต้องการสร้างแบบจำลอง.....	23
3.5 แบบจำลองเพลลาที่สร้างด้วยซอฟต์แวร์ Ansys.....	23
3.6 เข้าไปที่ Model เพื่อวิเคราะห์แบบจำลองเพลลา.....	23
3.7 แบบจำลองเพลลาที่ปรับค่าต่างๆ ของการสร้าง Mesh จนเหมาะสมแล้ว.....	24
3.8 Moment คือบริเวณที่เป็นสีแดง และ Fix support คือบริเวณที่เป็นสีน้ำเงิน.....	24
3.9 ผลจากการวิเคราะห์แบบจำลองเพลลาด้วยวิธี Equivalent stress.....	24
3.10 ปรับลักษณะแถบสีที่ได้จากการวิเคราะห์ให้เป็นแบบ Isolation.....	25
3.11 รูปของแบบจำลองเพลลาที่ไม่ถูกโมเมนต์บิดกระทำและไม่เกิดความเสียหาย.....	26
3.12 รูปเพลลาจริง.....	26
3.13 รูปของแบบจำลองที่ถูกวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ Ansys.....	27
3.14 รูปที่ได้จากการปรับแต่งด้วย Roboflow.....	27
3.15 รูปบางส่วนสำหรับให้โมเดลทำนาย.....	28
3.16 เลือกโฟลเดอร์หรือรูปที่ต้องการทำ Annotation.....	28
3.17 เลือก format ไฟล์ Annotation ให้เป็น YOLO.....	29
3.18 เลือกโฟลเดอร์ที่ต้องการบันทึกไฟล์ Annotation.....	29
3.19 บริเวณที่เป็นสีเหลืองอมเขียว, สีเหลือง, สีส้ม, และสีแดงจะมีความเสี่ยง (Risk).....	29
3.20 สัดส่วนการแบ่งข้อมูลโดยทั่วไปสำหรับ Training, Validate training, และ Testing.....	30
3.21 กราฟแสดงความรวดเร็วและแม่นยำระหว่างอัลกอริทึมตรวจจับประเภทอื่นกับ YOLO.....	31
3.22 กราฟแสดงความรวดเร็วและแม่นยำของ YOLO 3 เวอร์ชัน.....	31
3.23 เปลี่ยนรันใหม่เป็น GPU.....	32
3.24 เชื่อมต่อกับ Google drive บน Google Colab.....	32
3.25 ใส่โค้ดสำหรับ install YOLOv5.....	32
3.26 ใส่โค้ดสำหรับ install wandb.....	33
3.27 Directory ของไฟล์ shaft.yaml.....	33
3.28 Directory ของไฟล์ yolov5s.pt.....	34
3.29 ตัวอย่างโค้ดสำหรับฝึกฝนและทดสอบโมเดล.....	34
3.30 URL ของเว็บไซต์จะอยู่ที่บรรทัดล่างสุดหลังการฝึกฝนและทดสอบในแต่ละครั้ง.....	34
3.31 อัปโหลดรูปที่ต้องการให้โมเดลทำนายบน Google drive.....	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.32 ตัวอย่างโค้ดสำหรับให้โมเดลทำนายรูปที่เตรียมไว้.....	35
3.33 รูปที่ได้หลังจากการทำนายด้วยโมเดล.....	36
4.1 กราฟแสดงผลของ train/obj_loss.....	38
4.2 กราฟแสดงผลของ train/box_loss.....	38
4.3 กราฟแสดงผลของ train/PR-curve.....	39
4.4 เปรียบเทียบระหว่างผลการทำนายกับรูปการวิเคราะห์ความเข้มของความเค้น.....	39
4.5 กราฟแสดงผลของ train/obj_loss.....	41
4.6 กราฟแสดงผลของ train/box_loss.....	41
4.7 กราฟแสดงผลของ train/PR-curve.....	41
4.8 เปรียบเทียบระหว่างผลการทำนายกับรูปการวิเคราะห์ความเข้มของความเค้น.....	42
4.9 กราฟแสดงผลของ train/obj_loss.....	43
4.10 กราฟแสดงผลของ train/box_loss.....	43
4.11 กราฟแสดงผลของ train/PR-curve.....	44
4.12 เปรียบเทียบระหว่างผลการทำนายกับรูปการวิเคราะห์ความเข้มของความเค้น.....	44
5.1 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ความเข้มของความเค้นหลังจากปรับโมเมนต์ ให้เหมาะสมกับแบบจำลอง.....	48
5.2 ยกเลิกการเชื่อมต่อ GPU และรีเซ็ตรันใหม่เป็นค่าเริ่มต้น.....	49
5.3 ตัวอย่างข้อมูลรูปที่มีความซ้ำซ้อน.....	50
ก.1 ตารางแสดงค่าคุณสมบัติของ Stainless Steel ที่ใช้ในทุแบบจำลองเพลลา.....	52

รายการสัญลักษณ์

c	รัศมีเพลลา
G	โมดูลัสของคามคงรูปหรือโมดูลัสของแรงเฉือน (Rigidity or shear modulus)
J	โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้ว (Polar moment of inertia)
K_{t1c}	ตัวประกอบความเค้นสำหรับวัสดุที่มีรูเป็นวงกลม (Stress concentration factor for an infinite element with a circular hole)
K_{t2e}	ตัวประกอบความเค้นสำหรับวัสดุที่มีรอยบากวงรี (Stress concentration factor for an element with the elliptical notch)
K	ตัวประกอบความเค้นบิด (Stress concentration factor)
L	ความยาวเพลลา
S_y	จุดคราก (Yield strength)
T	แรงหรือโมเมนต์บิด (Torque)
τ	ความเค้นเฉือน (Shear stress)
τ_{max}	ความเค้นเฉือนสูงสุด (Max shear stress)
γ	ความเครียดเฉือน (Shear strain)
γ_{max}	ความเครียดเฉือนสูงสุด (Max shear strain)
ρ	ระยะตามแนวรัศมีใดๆ บนหน้าตัดเพลลา
σ	ความเค้น (Stress)
θ	มุมของการบิด (Angle of twist)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันมีการใช้เพลาลากหลายแบบในอุตสาหกรรมต่างๆ เป็นจำนวนมาก เช่น เพลาชับ เพลาหมุน เพลาสบาย เป็นต้น อย่างไรก็ตามเพลาก็มีวันเสื่อมสภาพแต่สามารถยืดอายุการใช้งานหรือลดความอุบัติเหตุที่เกิดจากความเสียหายได้ด้วยการซ่อมบำรุง แต่หนึ่งในปัญหาเหล่านี้กลับเป็นตัวผู้ซ่อมบำรุงเสียเองที่ขาดความชำนาญ และความเข้าใจการทำงานของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ จึงทำให้การตรวจสอบความเสียหายไม่ครบทุกบริเวณ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของเพลา อายุการใช้งานของเพลา รวมไปถึงมนุษย์เช่นเดียวกัน

ดังนั้นปริญญานิพนธ์เล่มนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำนายหรือคาดการณ์บริเวณที่จะการเสียรูปของเพลาแบบต่างๆ โดยเฉพาะเพลามีรูปทรงซับซ้อนหรือขนาดสุดโต่งเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นจากความคลาดเคลื่อนของการตรวจสอบความเสียหายในบางจุดหรือวางแผนสำหรับการใช้งานเพลา และเนื่องจากเพลาก็ใช้ในอุตสาหกรรมส่วนมากจะถูกแรงหรือโมเมนต์บิดกระทำ ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำจะเลือกศึกษาในเรื่องความเข้มของความเค้นบนเพลาทรงกระบอกที่ถูกแรงหรือโมเมนต์บิดกระทำเป็นหลัก

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- เพื่อศึกษาความเค้นบิดบนเพลาลักษณะที่ต่างกัน
- เพื่อสังเกตการเสียรูปจากโมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นบนแบบจำลองเพลา
- เพื่อลดโอกาสการเกิดความเสียหายจากความเข้มของความเค้นบนเพลาลักษณะที่แตกต่างกัน
- เพื่อนำเทคโนโลยีมาใช้ในการช่วยการทำนายบริเวณที่จะเกิดความเข้มของความเค้นบนเพลา

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

- กำหนดให้แรงบิดหรือโมเมนต์บิดเป็นปัจจัยหลักที่กระทำต่อวัสดุในการวิเคราะห์ความเข้มของความเค้นโดยไม่ปัจจัยอื่นมาเกี่ยวข้อง
- การวิเคราะห์ของทุกแบบจำลองเพลานั้น จะให้แบบจำลองถูกยึดที่ปลายด้านหนึ่ง ส่วนปลายอีกด้านมีโมเมนต์บิดกระทำคงที่เพียงค่าเดียวเท่านั้น
- วัสดุที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองคือเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แบบจำลอง 3 มิติทุกแบบจะเป็นเพลาทรงกระบอกทั้งหมด โดยใช้วัสดุและค่าคงที่ของการคำนวณเหมือนกัน
- ช่วงของความเข้มของความเค้นบนเพลาที่ได้จากการวิเคราะห์ที่สนใจคือตั้งแต่ 60% ของความเข้มของความเค้นสูงสุดที่ได้จากการวิเคราะห์แบบจำลองของเพลานั้นๆ

1.4 แผนการดำเนินงาน

- ศึกษาข้อมูลเรื่องการเสียรูปของโครงสร้างจากการบิด, ความเข้มของความเค้นบนเพลาที่ถูกแรงหรือโมเมนต์บิดกระทำจากตำราและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
- ศึกษาความเกี่ยวข้องและความแตกต่างระหว่าง AI (Artificial Intelligence), ML (Machine Learning), และ Deep Learning
- ศึกษาโปรแกรมที่จะนำมาใช้งาน ได้แก่ ANSYS, Python, YOLOv5, และ Google Colab
- ใช้ซอฟต์แวร์ Ansys สร้างแบบจำลองเพลา 3 มิติ ทั้งจากเพลาจริง และออกแบบขึ้นเอง
- วิเคราะห์ความเข้มของหน่วยแรงของแบบจำลองเพลาด้วยซอฟต์แวร์ Ansys
- เก็บข้อมูลรูปของแบบจำลองเพลาที่สร้างและวิเคราะห์เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับฝึกฝนโมเดลและการทำ Annotation ตามลำดับ
- ฝึกฝนโมเดลด้วย YOLOv5 บน Google Colab
- ทดสอบโมเดลกับข้อมูลรูปไม่ได้ใช้ในการฝึกฝนกับ YOLOv5
- ให้โมเดลทำนายบริเวณความเข้มของความเค้นบนเพลาด้วย YOLOv5 บน Google Colab
- ปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ของโมเดลที่ใช้ เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการทำนายความเข้มของความเค้นบนเพลา
- เพิ่มความซับซ้อนของการทำนายจาก 1 ประเภทความเสี่ยง เป็น 2 ประเภทความเสี่ยง เมื่อผลจากการใช้งานจริงสอดคล้องกับประสิทธิภาพของโมเดล
- อภิปรายผลการใช้งานจริงและประสิทธิภาพของโมเดลที่สอดคล้องกัน
- สรุปผลการดำเนินงาน

1.5 ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย

- ได้เรียนรู้การเสียรูปของโครงสร้างเนื่องจากความเข้มของความเค้นที่เกิดจากแรงหรือโมเมนต์บิด
- ได้เรียนรู้การคำนวณความเข้มของความเค้นของวัสดุผ่านแบบจำลองที่มีรูปทรงซับซ้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ฝึกฝนการใช้โปรแกรม Ansys ในการสร้างแบบจำลอง และการวิเคราะห์ความเข้มของความเค้นบนแบบจำลองเพลลาโดยคำนึงถึงวัสดุที่ใช้
- ได้ประยุกต์ใช้ความรู้กับเทคโนโลยีอย่างอัลกอริทึม YOLOv5 และ Google Colab
- สามารถอ่านค่าละประเมินผลโมเดล ML (Machine Learning) ได้ จาก metrics ต่างๆ เช่น ค่าความแม่นยำ (mAP_0.5), precision, recall เป็นต้น

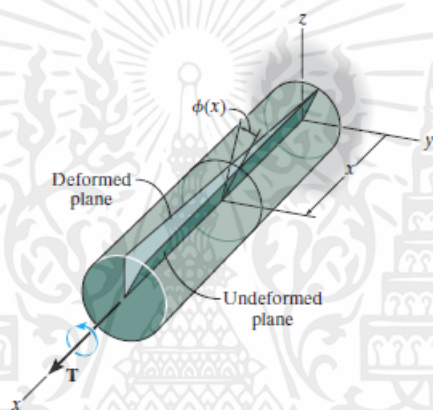


บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

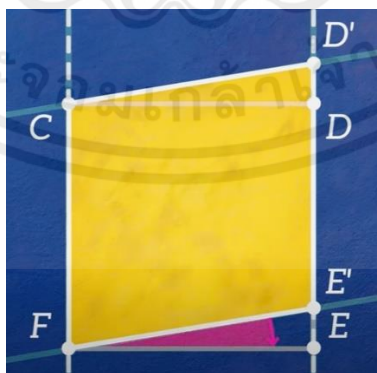
2.1 การบิดบนเพลาทรงกระบอก (Torsion) [40] [46]

การบิดบนเพลานั้นเกิดขึ้นจากแรงบิด (Torque) หรือโมเมนต์บิด (Torsional moment) กระทำบนเพลานี้ ซึ่งจะก่อให้เกิดความเครียดเฉือน (Shear strain) และความเค้นเฉือน (Shear stress) โดยหากด้านหนึ่งของเพลาทรงกระบอกถูกยึดไว้ ส่วนอีกด้านถูกแรงบิดหรือโมเมนต์บิดกระทำ จะทำให้เกิดมุมของการบิด θ (angle of twist) ซึ่งมีค่าแตกต่างกันตามความยาวของเพลานี้



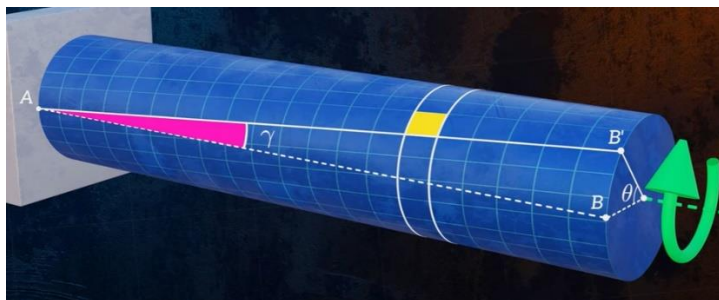
รูปที่ 2.1 มุมของการบิด [40]

เมื่อพิจารณาช่องที่ได้จากการแบ่งบนเพลานี้เพียงหนึ่งช่อง ความเครียดเฉือนของเพลาทรงกระบอกจะเกิดจากมุมที่เกิดจากการเลื่อนตามแนวการบิดของช่องตามรูปที่ 2.2 ซึ่งจะเท่ากับมุมดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 ช่องที่ถูกเลื่อนตามการบิดจนเกิดมุมของความเครียดเฉือน [46]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 มุมของความเครียดเฉือนจากรูปที่ 2.2 จะมีค่าเท่ากับมุมที่เกิดจากความยาวของเพลลาถูกเลื่อนตามแนวการบิด [46]

และหากพิจารณาที่มุมของการบิดค่าน้อยๆ ความเครียดเฉือน (γ) จะมีค่าประมาณ $\tan(\gamma)$ จึงได้สมการดังนี้

$$\tan(\gamma) = \frac{BB'}{AB} \quad (2.1)$$

$$\gamma = \frac{\theta p}{L} \quad (2.2)$$

โดยที่ θ คือมุมของการบิด p คือความยาวตามรัศมีใดๆ บนหน้าตัดเพลลา L คือความยาวของเพลลา ก่อนเกิดการเสียรูป และจากสมการที่ 2.2 ความเครียดเฉือนจะสูงที่สุดเมื่อ p เท่ากับความยาวรัศมีเพลลา

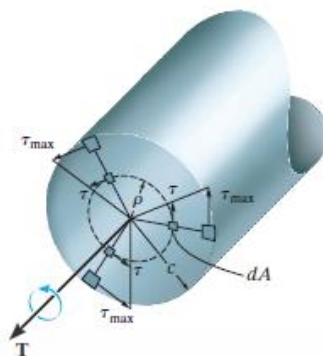
$$\gamma = \left(\frac{\rho}{c}\right) \gamma_{\max} \quad (2.3)$$

จากสมการ 2.3 แสดงให้เห็นว่าความเครียดเฉือนจะแปรผันตรงกับความยาวตามแนวรัศมี

2.1.1 ความเค้นเฉือนหรือความเค้นบิด (Torsional Stress) [40]

จากกฎของฮุก $\tau = G \gamma$ จึงได้ว่าความเค้นเฉือนแปรผันตรงกับความยาวตามแนวรัศมีเช่นเดียวกับความเครียดเฉือนดังสมการที่ 2.4

$$\tau = \left(\frac{\rho}{c}\right) \tau_{\max} \quad (2.4)$$



รูปที่ 2.4 ความเค้นเฉือนที่กระทำบนหน้าตัดของเพลาคี่พื้นที่ขนาดเล็ก ณ ตำแหน่งต่างๆ [40]

จากรูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นว่าหากพิจารณาบริเวณหน้าตัดของเพลาคี่พื้นที่ขนาดเล็ก ณ ตำแหน่ง ρ จะมีแรงกระทำของ $dF = \tau dA$ ดังนั้นแรงหรือโมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นคือ $dT = \rho (\tau dA)$ และเมื่อคำนวณทั้งหน้าตัดของเพลาคี่จะได้แรงหรือโมเมนต์บิดดังสมการที่ 2.5

$$T = \int_A \rho (\tau dA) = \int_A \rho \left(\frac{\rho}{c} \right) \tau_{\max} dA \quad (2.5)$$

เนื่องจาก $\tau_{\max}$ และ c เป็นค่าคงที่ ดังนั้น

$$T = \frac{\tau_{\max}}{c} \int_A \rho^2 dA \quad (2.6)$$

จากสมการที่ 2.6 ภายในอินทิกรอลนั้นคือโมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้ว โดยจะมีค่าดังกล่าวแตกต่างกันขึ้นอยู่กับรูปทรงหน้าตัดของเพลาคี่ ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างแรงหรือโมเมนต์บิดกับความเค้นเฉือนสูงสุดจึงเป็นไปตามสมการที่ 2.7

$$\tau_{\max} = \frac{Tc}{J} \quad (2.7)$$

เมื่อ

- $\tau_{\max}$ = ความเค้นเฉือนสูงสุดที่เกิดบนผิวนอกของเพลาคี่
- T = แรงหรือโมเมนต์บิดภายในที่กระทำบนหน้าตัดของเพลาคี่
- J = โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วของหน้าตัดเพลาคี่
- c = รัศมีของเพลาคี่

และความเค้นเฉือนตามแนวรัศมีดังสมการที่ 2.8

$$\tau = \frac{T\rho}{J} \quad (2.8)$$

2.1.2 ความเข้มข้นของความเค้น (Stress Concentration) [40]

จากสมการที่ 2.7 นั้นจะสามารถใช้ได้เมื่อพื้นที่หน้าตัดของเพลานั้นมีความต่อเนื่องเท่านั้น ดังนั้นเมื่อพื้นที่หน้าตัดของเพลานั้นในบางช่วงมีการเปลี่ยนแปลง ตัวประกอบของความเค้นบิด K (Torsional stress concentration factor) จะถูกนำไปใช้ในการคำนวณหาความเค้นเฉือนสูงสุดด้วย ดังสมการที่ 2.9

$$\tau_{\max} = K \frac{T_c}{J} \quad (2.9)$$

โดยค่า K สามารถหาได้จากกราฟที่ได้จากการทดลองหรือจากการคำนวณกับเพลามีลักษณะแตกต่างกัน

2.1.3 ตัวประกอบความเค้นบิด (Torsional Stress Concentration Factor)

เนื่องจากแบบจำลองเพลานั้นมีหลากหลายแบบจึงทำให้ค่าตัวประกอบของความเค้นบิดที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้นแตกต่างกันออกไป ซึ่งกราฟและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองมีดังนี้

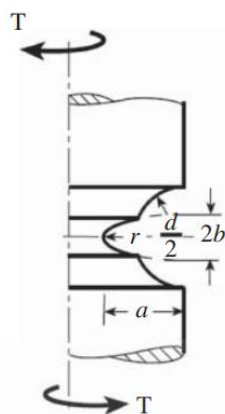
1. หลายความเค้นบนเพลาน [49]

กล่าวคือมีรูปทรงที่เพิ่มความเค้นบนซ้อนกันบนเพลานเดียวกันเช่น รูปนรอยบากหรือรอยบากบนร่อง เป็นต้น ซึ่งกรณีที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองคือ ขนาดของรูปทรงที่เพิ่มความเครียดใกล้เคียงกันหรือเป็นไปตามเงื่อนไขดังสมการที่ 2.10

$$\max(K_{t1}, K_{t2}) < K_{t1,2} \leq K_{t1} \cdot K_{t2} \quad (2.10)$$

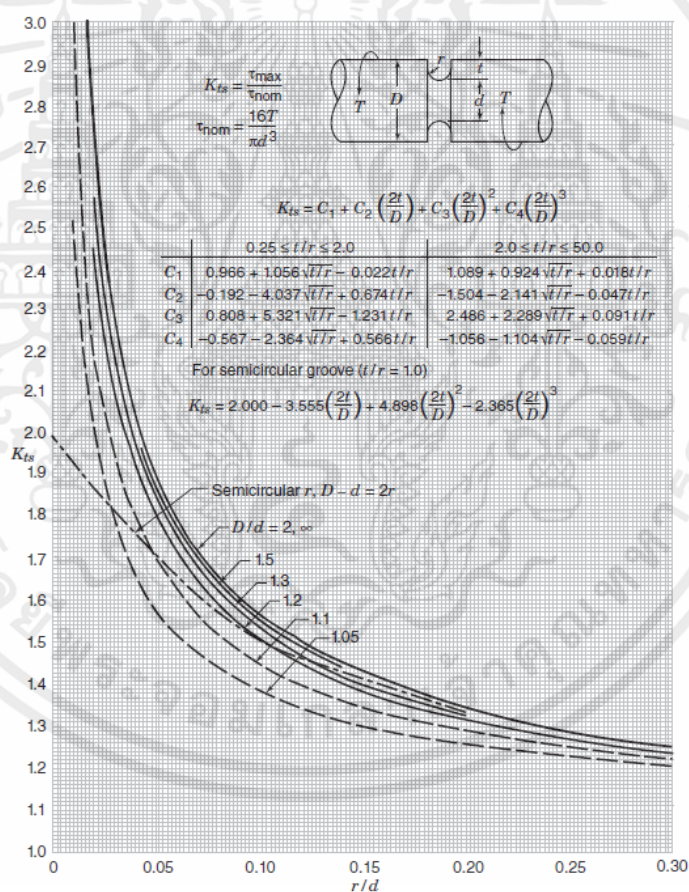
ซึ่งแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์จะมีร่องกลมซ้อนกัน 2 ชั้นดังรูปตัวอย่างที่ 2.5 ซึ่งสามารถหาค่าโดยประมาณของตัวประกอบของความเค้นบิดได้ดังสมการที่ 2.11

$$K_{t1,2} \approx K_{t1c} + (K_{t2e} - K_{t1c}) \sqrt{\left(1 - \frac{1}{4} \left(\frac{d}{b}\right)^2\right)} \quad (2.11)$$

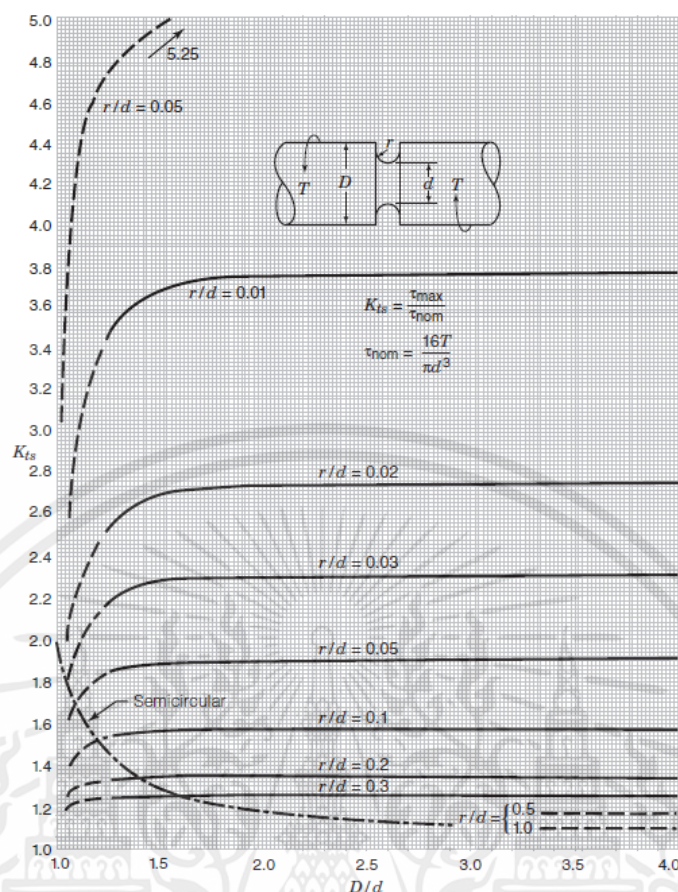


รูปที่ 2.5 เพลามีร่องกลมซ้อนกัน 2 ชั้น [49]

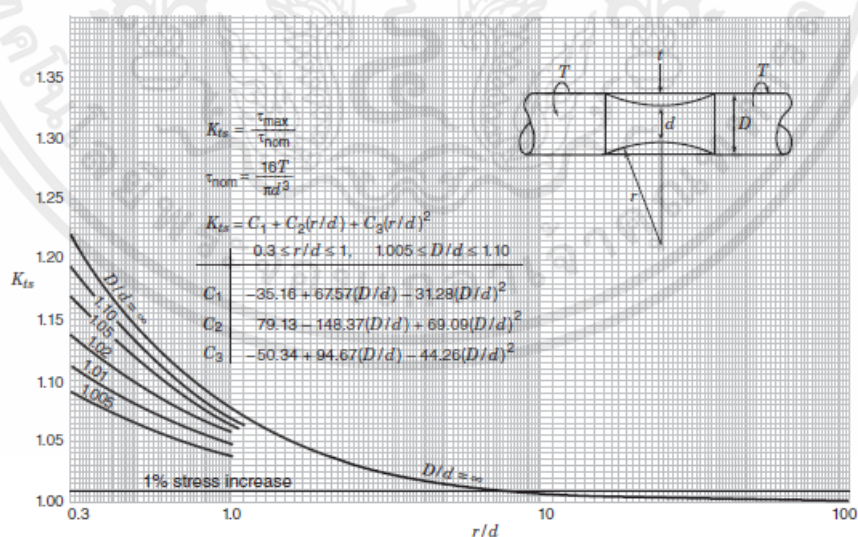
2. รอยบากและร่อง (notches and grooves)



รูปที่ 2.6 กราฟแสดงค่าตัวประกอบของความเค้นบิดสำหรับแท่งวัสดุหน้าตัดรูปวงกลมที่มีร่องรูปทรง U [49]

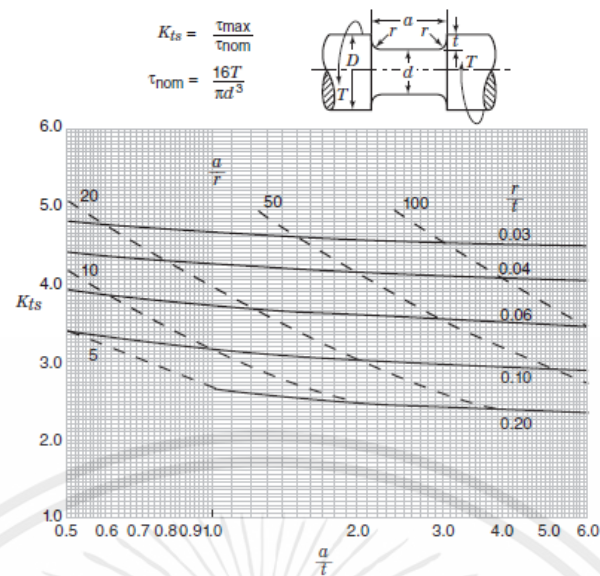


รูปที่ 2.7 กราฟแสดงค่าตัวประกอบของความเค้นบิดสำหรับแท่งวัสดุหน้าตัดรูปวงกลมที่มีร่องรูปทรง U [49]



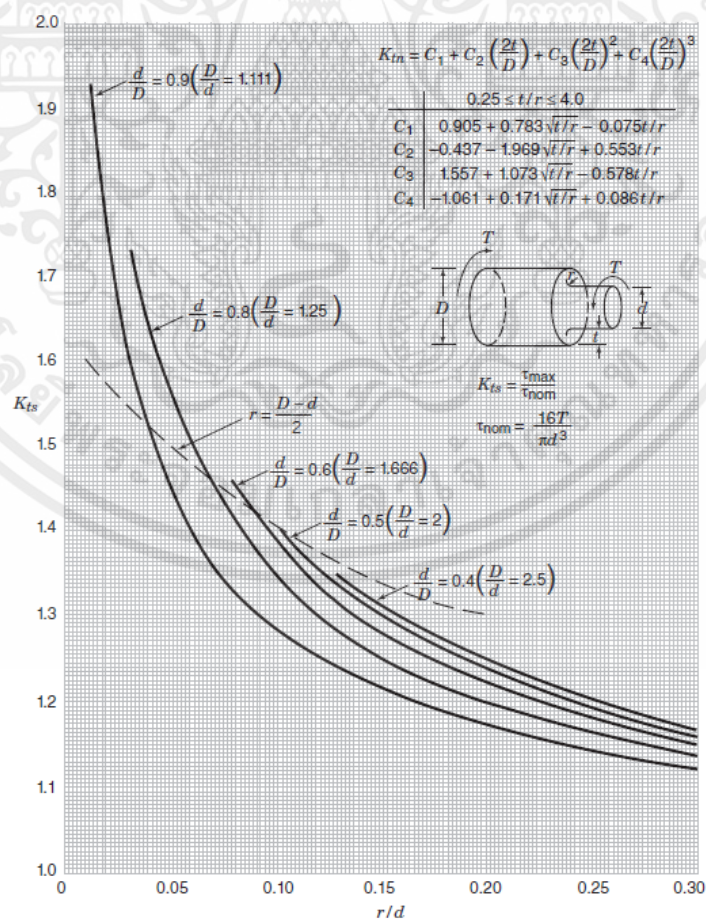
รูปที่ 2.8 กราฟแสดงค่าตัวประกอบของความเค้นบิดสำหรับแท่งวัสดุหน้าตัดรูปวงกลมที่มีร่องตื้นรูปทรง U [49]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



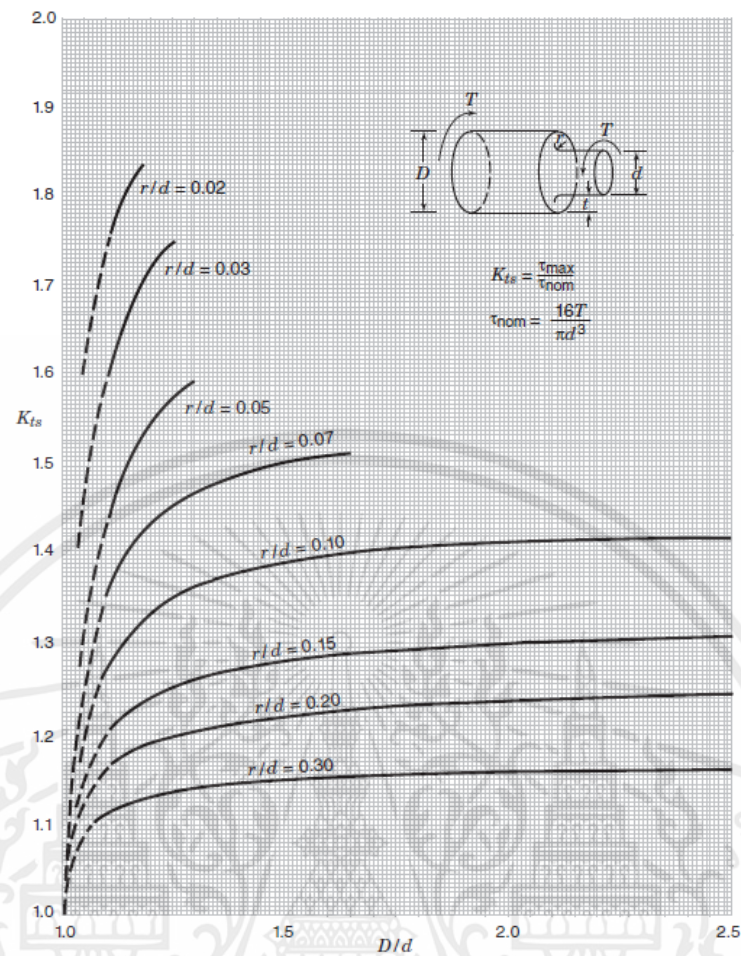
รูปที่ 2.9 กราฟแสดงค่าตัวประกอบของความเค้นบิดสำหรับแท่งวัสดุหน้าตัดรูปวงกลมที่มีรูปแบบพื้นเรียบ [49]

3. Fillets



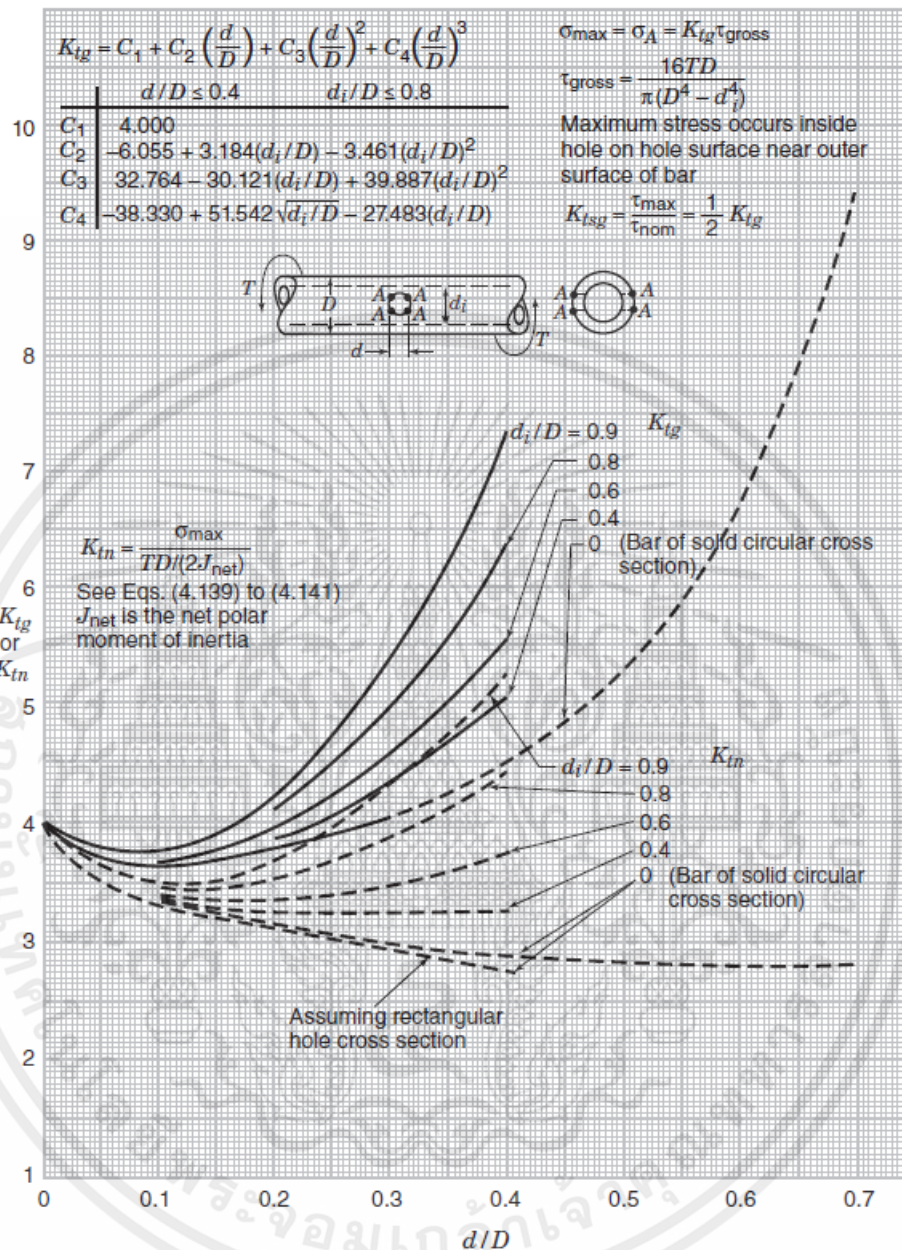
รูปที่ 2.10 กราฟแสดงค่าตัวประกอบความเค้นบิดสำหรับเพลามี fillet [49]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



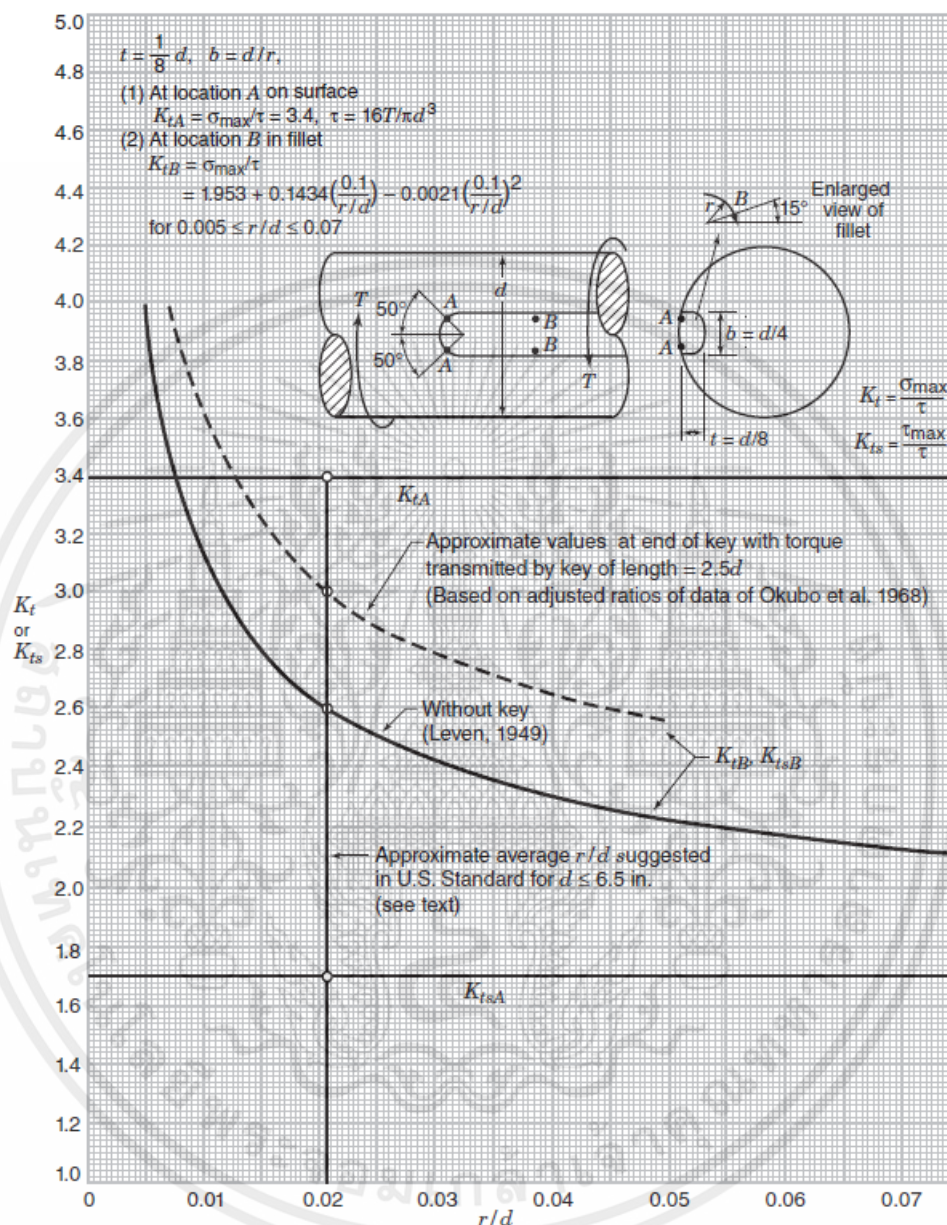
รูปที่ 2.11 กราฟแสดงค่าตัวประกอบความเค้นบิดสำหรับเพลลาที่มี fillet [49]

4. รู (holes)



รูปที่ 2.12 กราฟแสดงค่าตัวประกอบความเค้นบิดสำหรับท่อหรือบาร์หน้าตัดรูวงกลมที่มีรูขวางกัน [49]

5. เบ็ดเตล็ด

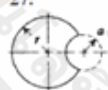


รูปที่ 2.13 กราฟแสดงค่าตัวประกอบความเค้นบิดสำหรับเพลามีร่องสลักปลายด้านหนึ่งเป็นครึ่งวงกลม [49]

2.1.4 โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้ว (Polar Moment of Inertia)

เช่นเดียวกับตัวประกอบของความเค้นบิด แบบจำลองที่หลากหลายจึงทำให้โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วนั้นแตกต่างกันออกไป ซึ่งมีรูปทรงที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 2-5 (continued) TORSIONAL CONSTANT J^a									
Shape	Torsional Constant J								
<i>Circular Cross Sections</i>									
7. Solid 	$J = \frac{1}{2}\pi r_o^4 = \frac{1}{32}\pi d_o^4$								
8. Hollow 	$J = \frac{1}{2}\pi(r_o^4 - r_i^4) = \frac{1}{32}\pi(d_o^4 - d_i^4)$								
9. Very thin 	$J = 2\pi r^3 t$								
TABLE 2-5 (continued) TORSIONAL CONSTANT J^a									
Shape	Torsional Constant J								
18. 	$J = 2Hr^4$ where for $0.1 \leq b/r \leq 0.5$, $H = C_1 + C_2(b/r) + C_3(b/r)^2 + C_4(b/r)^3$ For $0.2 \leq a/b \leq 2.0$ <table border="1"> <tr> <td>C_1</td><td>$0.8022 - 0.05327(a/b) + 0.05212(a/b)^2 - 0.01372(a/b)^3$</td></tr> <tr> <td>$C_2$</td><td>$-0.2248 + 0.6236(a/b) - 0.6370(a/b)^2 + 0.1612(a/b)^3$</td></tr> <tr> <td>$C_3$</td><td>$-0.08032 - 3.609(a/b) + 2.481(a/b)^2 - 0.5339(a/b)^3$</td></tr> <tr> <td>$C_4$</td><td>$-0.2603 + 2.876(a/b) - 1.630(a/b)^2 + 0.3355(a/b)^3$</td></tr> </table>	C_1	$0.8022 - 0.05327(a/b) + 0.05212(a/b)^2 - 0.01372(a/b)^3$	C_2	$-0.2248 + 0.6236(a/b) - 0.6370(a/b)^2 + 0.1612(a/b)^3$	C_3	$-0.08032 - 3.609(a/b) + 2.481(a/b)^2 - 0.5339(a/b)^3$	C_4	$-0.2603 + 2.876(a/b) - 1.630(a/b)^2 + 0.3355(a/b)^3$
C_1	$0.8022 - 0.05327(a/b) + 0.05212(a/b)^2 - 0.01372(a/b)^3$								
C_2	$-0.2248 + 0.6236(a/b) - 0.6370(a/b)^2 + 0.1612(a/b)^3$								
C_3	$-0.08032 - 3.609(a/b) + 2.481(a/b)^2 - 0.5339(a/b)^3$								
C_4	$-0.2603 + 2.876(a/b) - 1.630(a/b)^2 + 0.3355(a/b)^3$								
19. 	$J = 2Hr^4$ where for $0.1 \leq b/r \leq 0.5$, $H = C_1 + C_2(b/r) + C_3(b/r)^2 + C_4(b/r)^3$ For $0.2 \leq a/b \leq 2.0$ <table border="1"> <tr> <td>C_1</td><td>$0.7856 - 0.01775(a/b) + 0.03284(a/b)^2 - 0.009474(a/b)^3$</td></tr> <tr> <td>$C_2$</td><td>$-0.1551 + 0.5930(a/b) - 0.7858(a/b)^2 + 0.2038(a/b)^3$</td></tr> <tr> <td>$C_3$</td><td>$-1.124 - 5.639(a/b) + 3.938(a/b)^2 - 0.8327(a/b)^3$</td></tr> <tr> <td>$C_4$</td><td>$0.5493 + 5.451(a/b) - 3.143(a/b)^2 + 0.6367(a/b)^3$</td></tr> </table>	C_1	$0.7856 - 0.01775(a/b) + 0.03284(a/b)^2 - 0.009474(a/b)^3$	C_2	$-0.1551 + 0.5930(a/b) - 0.7858(a/b)^2 + 0.2038(a/b)^3$	C_3	$-1.124 - 5.639(a/b) + 3.938(a/b)^2 - 0.8327(a/b)^3$	C_4	$0.5493 + 5.451(a/b) - 3.143(a/b)^2 + 0.6367(a/b)^3$
C_1	$0.7856 - 0.01775(a/b) + 0.03284(a/b)^2 - 0.009474(a/b)^3$								
C_2	$-0.1551 + 0.5930(a/b) - 0.7858(a/b)^2 + 0.2038(a/b)^3$								
C_3	$-1.124 - 5.639(a/b) + 3.938(a/b)^2 - 0.8327(a/b)^3$								
C_4	$0.5493 + 5.451(a/b) - 3.143(a/b)^2 + 0.6367(a/b)^3$								
27. 	$J = 2Hr^4$ where for $0.1 \leq a/r \leq 0.5$, $H = 0.785940 - 0.029096(a/r) - 1.391780(a/r)^2 + 0.891659(a/r)^3$								
TABLE 2-5 (continued) TORSIONAL CONSTANT J^a									
Shape	Torsional Constant J								
28. 	$J = 2Hr^4$ where for $0.1 \leq a/r \leq 0.5$, $H = 0.785300 - 0.013430(a/r) - 3.069283(a/r)^2 + 2.549998(a/r)^3$								

รูปที่ 2.14 โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วของหน้าตัดเพลาดังกล่าว [48]

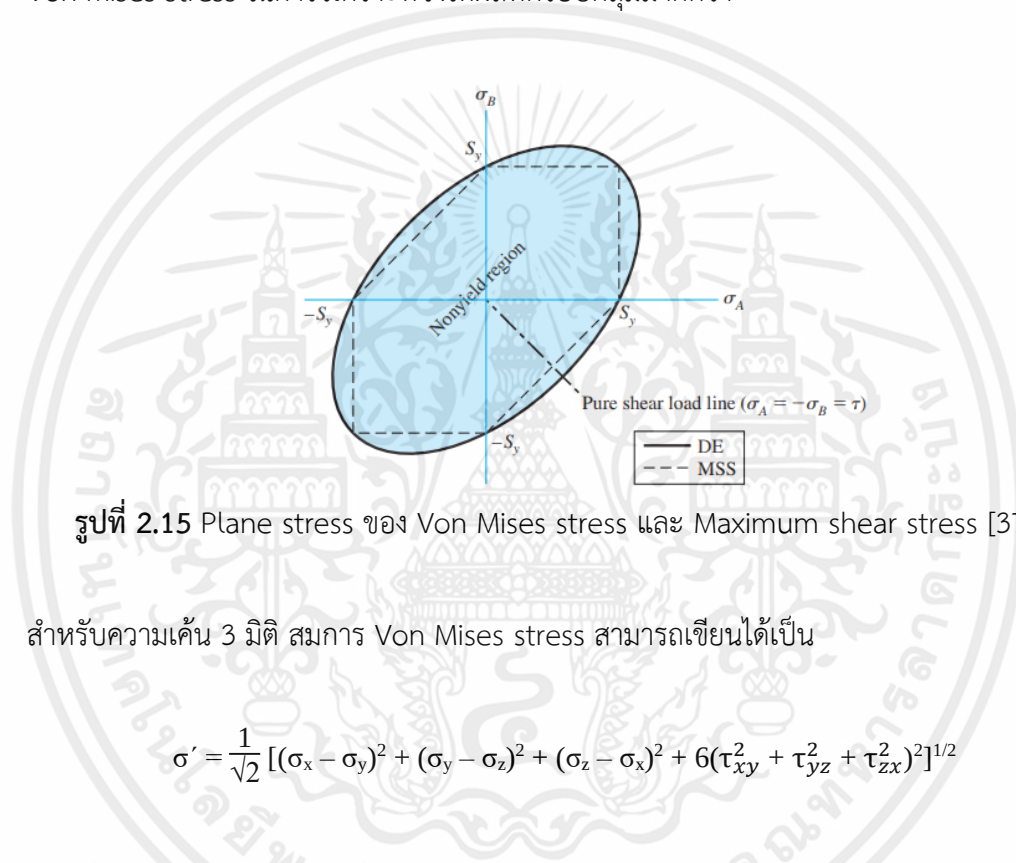
2.1.5 Von Mises Stress

Von Mises stress หรือ Equivalent stress คือหนึ่งในการวิเคราะห์ความเสียหาย เมื่อค่าของความเค้นนี้มากกว่าหรือเท่ากับจุดคราก (Yield strength, S_y) ก็จะทำให้วัสดุเกิดความเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sigma' = S_y \quad (2.12)$$

ซึ่งในส่วนของการวิเคราะห์แบบจำลองเพลานั้นจะเลือกใช้การวิเคราะห์นี้เพราะเหมาะกับการวิเคราะห์ความเสียหายวัสดุเหนียวอย่างเหล็กกล้าไร้สนิมซึ่งถูกกำหนดในทุกแบบจำลอง นอกจากนี้การวิเคราะห์ดังกล่าวยังมีความยืดหยุ่นมากกว่าการวิเคราะห์ความเสียหายด้วย Maximum shear stress เพราะถึงแม้ว่าจะมีการกำหนดให้แบบจำลองนั้นถูกโมเมนต์บิดกระทำเพียงอย่างเดียว แต่ด้วยรูปทรงของแบบจำลองเพลางานรูปทรงนั้นก็สามารถทำให้เกิดความเค้นอื่นๆ ได้ ดังนั้นการใช้วิธี Von Mises stress ในการวิเคราะห์จึงให้ผลที่ครอบคลุมมากกว่า



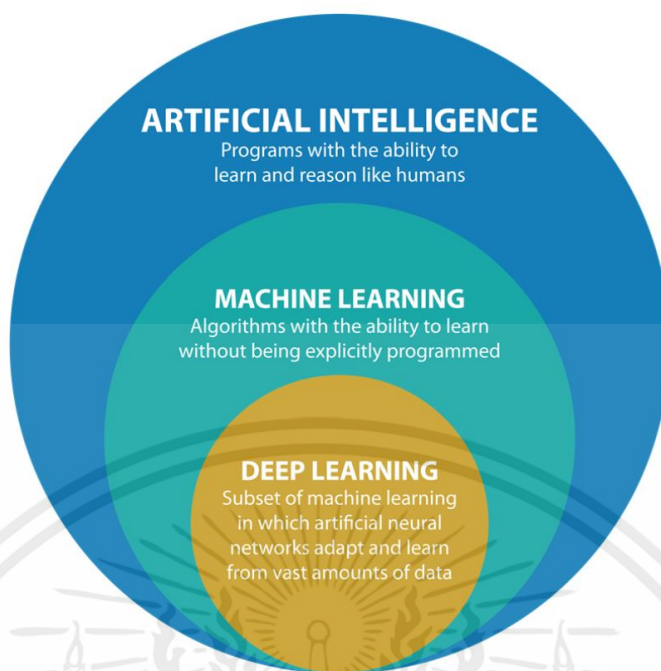
รูปที่ 2.15 Plane stress ของ Von Mises stress และ Maximum shear stress [37]

สำหรับความเค้น 3 มิติ สมการ Von Mises stress สามารถเขียนได้เป็น

$$\sigma' = \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)]^{1/2} \quad (2.13)$$

2.2 Machine Learning and Deep Learning

Deep Learning นั้นถือเป็นสับเซตของ Machine Learning โดยทั้งสองอย่างนี้มีความเหมือนกันตรงที่ใช้ระบบคอมพิวเตอร์ในการสร้างอัลกอริทึมขึ้นมาเพื่อใช้งาน อย่างที่เห็นกันได้ทั่วไปตามแอปพลิเคชันที่เลือกเพลง หรือแม้แต่โฆษณาบนแอปพลิเคชัน โดยตัวอัลกอริทึมจะประมวลผลได้แม่นยำมากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ส่วนความแตกต่างนั้นจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการประมวลผลคือ Machine Learning นั้นเมื่อมีการทำงานผิดพลาดก็ต้องถูกแก้ไขโดยผู้พัฒนา แต่ Deep Learning นั้นหากเกิดความผิดพลาดขึ้นจะสามารถเรียนรู้และแก้ไขเองเหมือนมีสมองของตัวเอง ซึ่งการทำงานต่อจากนี้จะมีการนำความรู้ในเรื่องนี้ไปใช้อย่าง Object Detection ซึ่งการทำงานของมันจะสามารถรู้ได้ว่าภายในรูปหรือวิดีโออื่นๆ มีรถ คน หรือวัตถุอื่นๆ ที่เรากำหนดอยู่ในรูปหรือวิดีโอหรือไม่



รูปที่ 2.16 เวนไดอแกรมแสดงความสัมพันธ์ของ AI, ML, และ Deep Learning [14]

เพื่อให้เห็นภาพในการนำ Deep Learning ไปใช้งานที่ชัดเจนมากขึ้น ในปัจจุบันจึงนิยมใช้กับงานที่ใช้กับข้อมูลจำนวนมากเช่น [6]

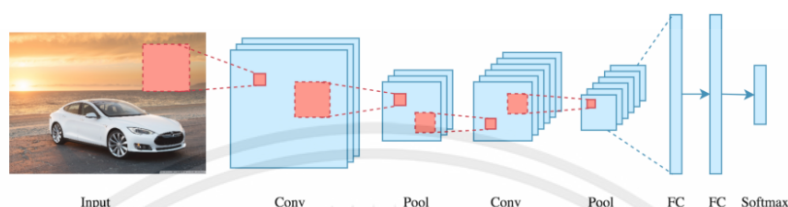
1. รถยนต์ขับเคลื่อนอัตโนมัติ (Autonomous Vehicles): นำไปใช้กับระบบความปลอดภัยของรถยนต์อย่างระบบเตือนภัยต่างๆ โดยให้ Deep Learning แยกวัตถุที่อยู่รอบรถยนต์ที่ก่อให้เกิดอันตราย จากการดึงข้อมูลของเซนเซอร์และกล้อง
2. การวินิจฉัยโรค: เช่น การวินิจฉัยโรคจากภาพถ่ายทางการแพทย์แล้วนำไปเทียบกับฐานข้อมูลเพื่อค้นหาความผิดปกติหรือโรคที่เกี่ยวข้องได้
3. การแปลภาษา: Google Translate นั้นก็มีการใช้ Deep Learning เช่นกัน ซึ่งมีอยู่ 2 ส่วนคือ ส่วนวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนที่ถูกป้อนจากผู้ใช้งานเพื่อเทียบกับฐานข้อมูลหลากหลายภาษา และ ส่วนของการแปลเพื่อหาความหมายที่เหมาะสมที่สุดของคำนั้นๆ
4. การสร้างประโยคหรือโต้ตอบกับมนุษย์: ใช้ในการหาความเชื่อมโยงระหว่างคำหรือประโยคที่มีอยู่ในฐานข้อมูล แล้วนำคำเหล่านั้นมาสร้างเป็นประโยคให้สมบูรณ์ ตัวอย่างบริการโต้ตอบอัตโนมัติ เช่น Siri, Alexa, Google Assistant เป็นต้น

ข้อดีของ Deep Learning คือ ไม่จำเป็นต้องจัดโครงสร้างและหมวดหมู่ของข้อมูลเพราะ Deep Learning สามารถหาความสัมพันธ์และเชื่อมโยงข้อมูลได้เอง อย่างไรก็ตามข้อเสียของ Deep Learning คือ ต้องใช้จำนวนข้อมูลจำนวนมาก รวมไปถึงไม่สามารถอธิบายกลไกการทำงานได้อย่างชัดเจน เนื่องจากหน่วยประมวลผลแต่ละหน่วยนั้นสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง จึงทำให้เหตุผลในการให้คำตอบหรือผลลัพธ์ของแต่ละหน่วยประมวลผลนั้นแตกต่างกันจนมีความซับซ้อนอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Networks)

Convolutional Neural Networks (CNN) เป็นโครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบหนึ่ง โดยจะจำลองการมองเห็นของมนุษย์คือ การมองแบบภาพรวม และการมองแบบภาพย่อย แล้ววิเคราะห์ภาพที่ตรงหน้าว่าคืออะไร โครงสร้างการทำงานของ CNN นั้นแสดงให้เห็นดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 2.17 โครงสร้างการทำงานของ Convolutional Neural Networks (CNN) [10]

การวิเคราะห์รูปด้วย CNN จะต้องมี Input เช่น รูปภาพ เป็นต้น และ Filter หรือตัวกรองรูปภาพ โดยทั้งสองอย่างนี้จะแบ่งออกเป็น pixels เล็กๆ และมีค่าเฉพาะของแต่ละช่อง

1	1	1	0	0
0	1	1	1	0
0	0	1	1	1
0	0	1	1	0
0	1	1	0	0

Input

1	0	1
0	1	0
1	0	1

Filter / Kernel

รูปที่ 2.18 ตัวอย่าง Input และ Filter [10]

การทำงานแบบ Convolution นั้นจะนำตัวกรอง (Filter) มาซ้อนกับ Input แล้วนำค่าของแต่ละ pixels มาคูณกัน หลังจากนั้นนำค่าที่ได้ทั้งหมดจากการคูณมารวมกัน แล้วนำค่าที่ได้แสดงบนผังคุณลักษณะ (Feature Map) ซึ่งจำนวนช่องของผังคุณลักษณะจะสอดคล้องกับการเลื่อนตัวกรองไปบน Input

1x1	1x0	1x1	0	0
0x0	1x1	1x0	1	0
0x1	0x0	1x1	1	1
0	0	1	1	0
0	1	1	0	0

4		

Input x Filter

Feature Map

รูปที่ 2.19 การสร้างฟังก์ชันลักษณะด้วย Input และ ตัวกรอง [10]

1	1x1	1x0	0x1	0
0	1x0	1x1	1x0	0
0	0x1	1x0	1x1	1
0	0	1	1	0
0	1	1	0	0

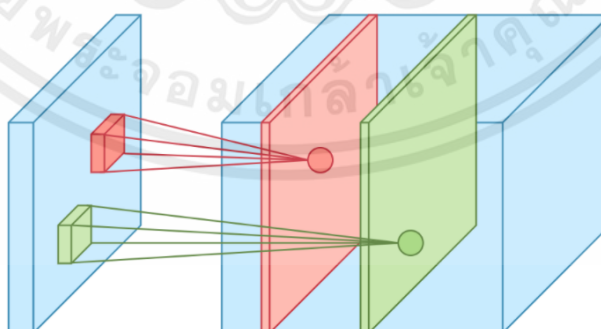
4	3	

Input x Filter

Feature Map

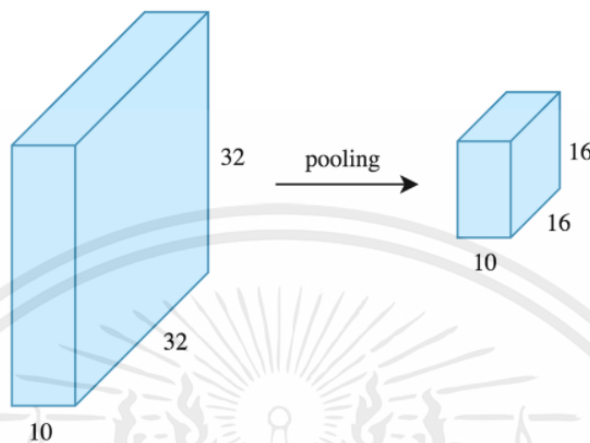
รูปที่ 2.20 เลื่อนตัวกรองไปบน Input เพื่อสร้างฟังก์ชันลักษณะ [10]

เมื่อเสร็จกระบวนการนี้แล้วจะได้ฟังก์ชันลักษณะจากการใช้ตัวกรองแบบเดียวเท่านั้น เราสามารถใช้ตัวกรองหลายแบบได้โดยจะได้ฟังก์ชันลักษณะที่แตกต่างกัน แล้วนำฟังก์ชันแต่ละอันมาซ้อน(Stack) กันในแนวลึกจะได้ดังภาพ



รูปที่ 2.21 การซ้อนกันของฟังก์ชันลักษณะจากตัวกรองที่แตกต่างกัน [10]

นอกจากนี้อีกหนึ่งในกระบวนการทำ CNN ที่สำคัญคือ Pooling ซึ่งอธิบายอย่างง่ายคือการย่อขนาดของ Input โดยการทำเช่นนี้คล้ายกับการมองของมนุษย์ในแบบภาพรวมซึ่งทำให้เข้าใจสิ่งที่อยู่ตรงหน้าได้เร็วขึ้น เช่นเดียวกับ Pooling เวลาในการทำงานได้



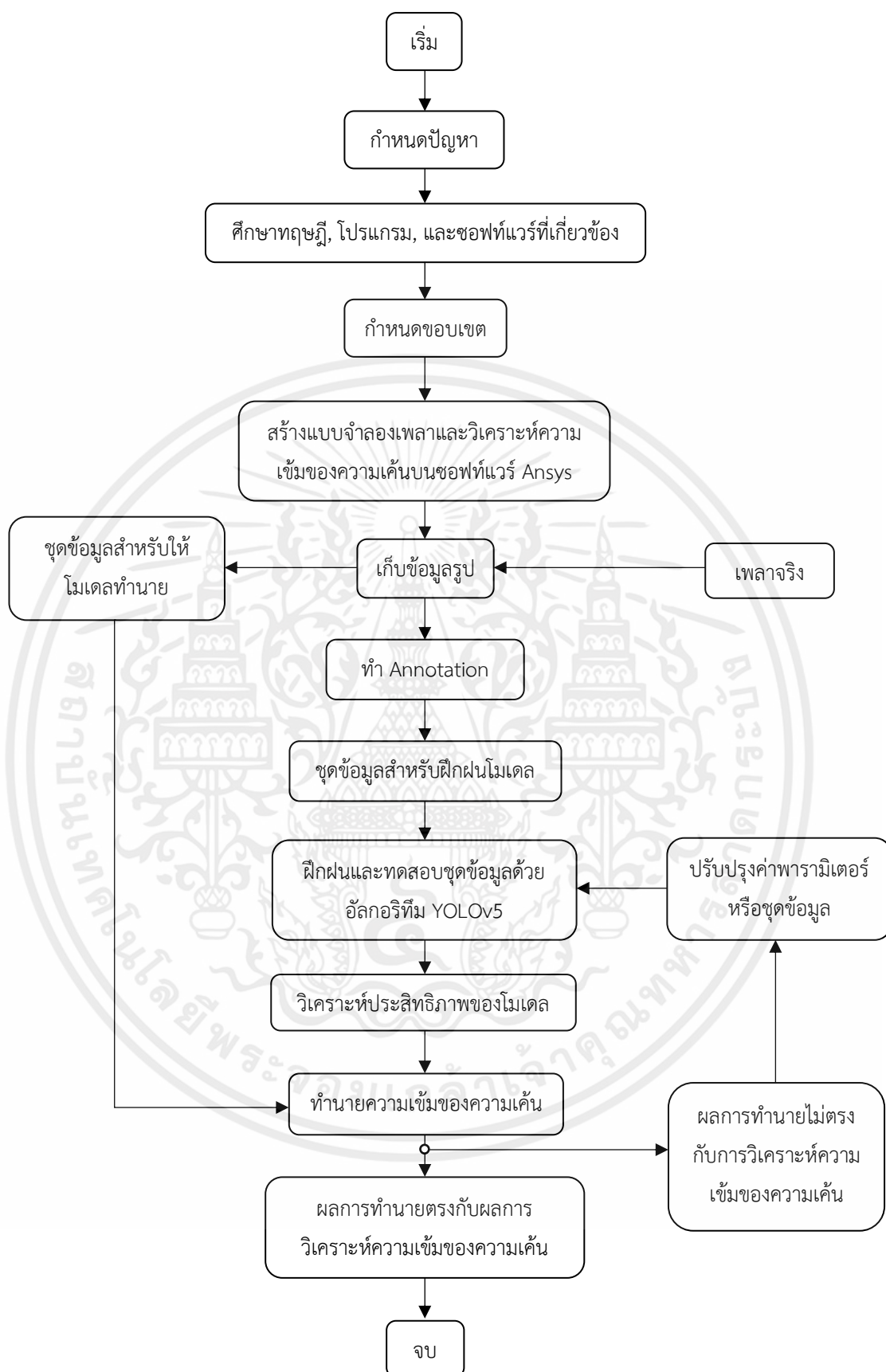
รูปที่ 2.22 การทำ Pooling [10]

หลังจากการทำ Pooling แล้วจะสลับไปที่การทำงานแบบ Convolution ไปเรื่อย ๆ ขึ้นอยู่กับเรากำหนด Convolution และ Pooling จำนวนกี่ครั้ง ซึ่งกระบวนการทั้งหมดนี้จะเป็นไปตามโครงสร้างการทำงานของ CNN ที่ได้กล่าวไปข้างต้น

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

ทำการสร้างแบบจำลองเพลาดันแบบจำนวน 67 แบบจำลองและเก็บข้อมูลรูปจากโปรแกรม Ansys โดยจะแยกข้อมูลรูปออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ รูปแบบจำลองเพล่าที่ไม่เกิดความเสียหาย และรูปเพล่าจริง แล้วนำข้อมูลรูปภาพเหล่านี้ไปฝึกฝนและทดสอบกับโมเดล Machine Learning ด้วย YOLOv5 แล้วนำโมเดลฝึกฝนและทดสอบแล้ว (Pretrained Model) ไปใช้ทำนายบริเวณที่จะเกิดความเข้มของความเค้นตามเกณฑ์ที่กำหนดด้วยรูปเพล่าจริงและรูปเพล่าที่สร้างด้วยแบบจำลองที่โมเดลไม่เคยฝึกฝนมาก่อนแล้ว เทียบรูปที่การวิเคราะห์ แล้วปรับปรุงแก้ไขโมเดลจนประสิทธิภาพของโมเดลมากกว่า 90% (เกณฑ์ประสิทธิภาพของโมเดลสำหรับการใช้งานจริง) จากนั้นจึงจะเพิ่มความซับซ้อนในการโดยการทำนายของโมเดลจากการทำนายเพียงบริเวณที่จะมีความเสี่ยง (Risk) เป็นบริเวณที่จะเกิดความเสียหายสูง และความเสียหายปานกลาง (High & Moderate Risk) เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นในการทำนายผลเมื่อนำไปใช้งานจริง โดยการทำงานจะเป็นไปตามแผนงานดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนงานแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

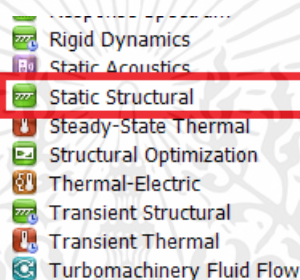
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 การสร้างแบบจำลองด้วย Ansys

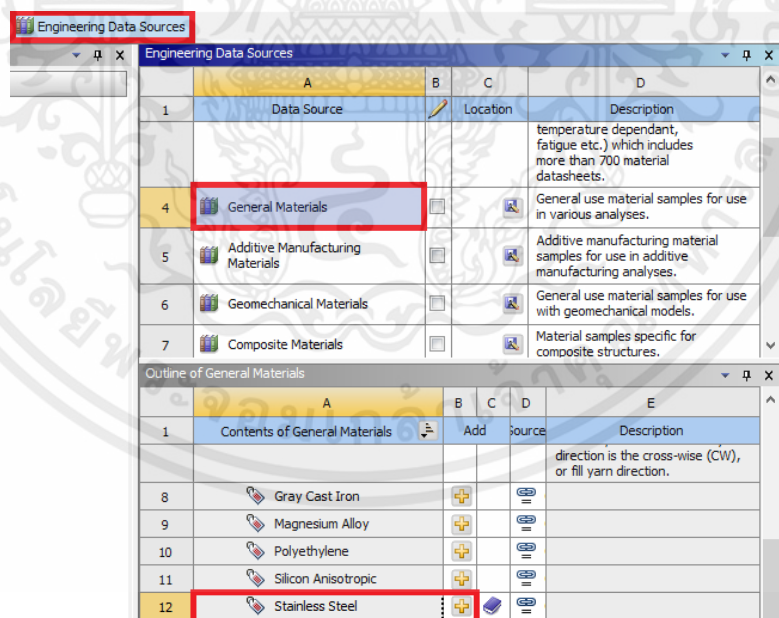
Ansys คือซอฟต์แวร์จำลองทางวิศวกรรมที่สามารถจำลองโครงสร้าง หรือวัตถุต่างๆ แล้ววิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) โดยการทำงานจะมีระบบ Workbench เสมือนเป็นผังการทำงานเพื่อให้การทำงานเป็นไปอย่างมีระบบ

3.1.1 การตั้งค่าการทำงาน

เปิดโปรแกรม Ansys จะปรากฏหน้าต่าง Workbench แล้วเลือกการวิเคราะห์แบบ Static Structural ทางแถบด้านขวา แล้วกำหนดวัสดุที่ใช้เป็นเหล็กกล้าไร้สนิม โดยค่าคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุที่ใช้มีรายละเอียดดังรูปที่ ก.1 ในภาคผนวก ก.



รูปที่ 3.2 เลือก Static Structural ทางแถบด้านขวบนหน้าต่าง Workbench

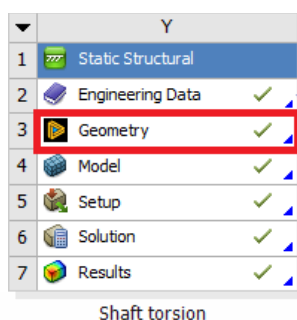


รูปที่ 3.3 เลือก Engineering data แล้วเลือกวัสดุที่ใช้เป็นเหล็กกล้าไร้สนิม

3.1.2 การสร้างแบบจำลอง

ในหน้าต่างของ Workbench จะเข้าไปที่ Geometry เพื่อสร้างแบบจำลองเพลลา โดยแบบจำลองที่สร้างจะใช้วัสดุ และค่าคุณสมบัติเหมือนกันทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



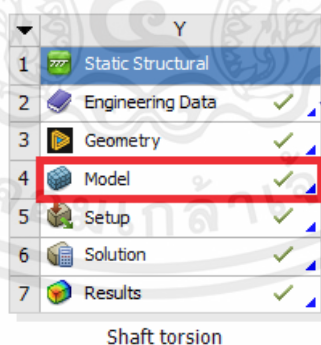
รูปที่ 3.4 เข้าไปที่ Geometry ของงานที่ต้องการสร้างแบบจำลองเพลลา



รูปที่ 3.5 แบบจำลองเพลลาที่สร้างด้วยซอฟต์แวร์ ANSYS

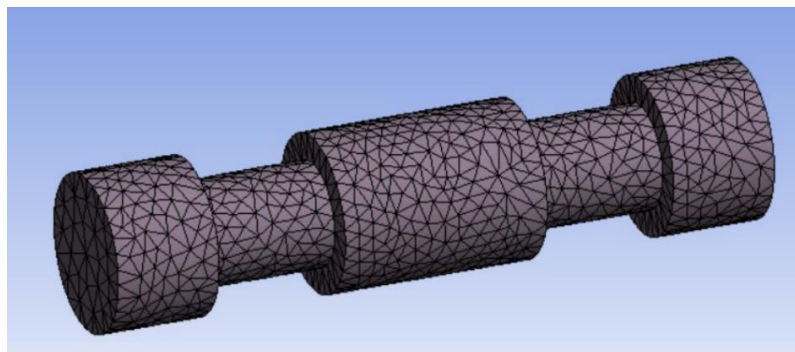
3.1.3 การวิเคราะห์แบบจำลอง

ในหน้าต่างของ Workbench จะทำการเข้าไปที่ Model ของชิ้นงานที่ต้องการวิเคราะห์



รูปที่ 3.6 เข้าไปที่ Model เพื่อวิเคราะห์แบบจำลองเพลลา

ทำการสร้าง Mesh ของแบบจำลองแล้วเลือก Fine และปรับค่า Element ของ Mesh ตามความเหมาะสมของแต่ละแบบจำลอง



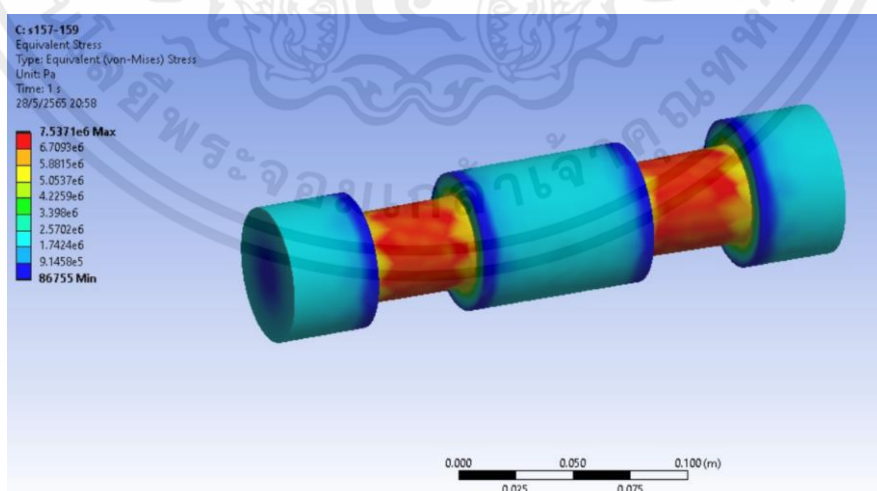
รูปที่ 3.7 แบบจำลองเพลาคู่ที่ปรับค่าต่างๆ ของการสร้าง Mesh จนเหมาะสมแล้ว

ใส่ Moment และ Fix support อย่างละข้างสำหรับวิเคราะห์แบบจำลองเพลาคู่



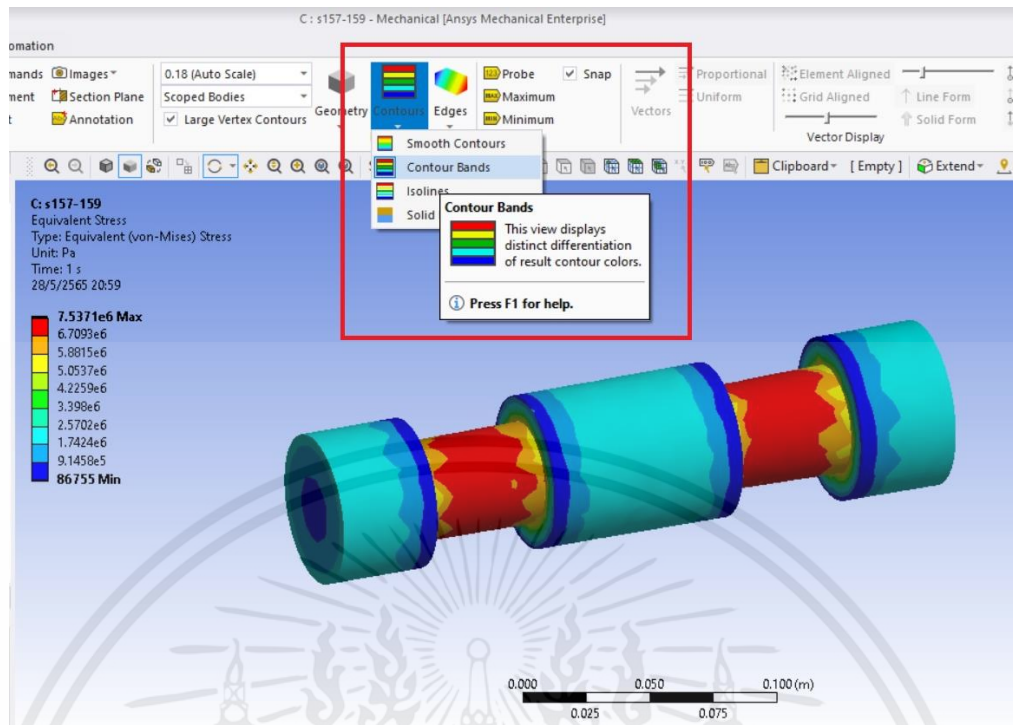
รูปที่ 3.8 Moment คือบริเวณที่เป็นสีแดง และ Fix support คือบริเวณที่เป็นสีน้ำเงิน

วิเคราะห์แบบจำลองเพลาคู่ด้วยวิธี Equivalent stress หลังจากนั้นปรับแถบสีที่ได้จากการวิเคราะห์เป็นแบบ Isolation เพื่อให้ง่ายต่อการทำ Annotation



รูปที่ 3.9 ผลจากการวิเคราะห์แบบจำลองเพลาคู่ด้วยวิธี Equivalent stress

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 ปรับลักษณะแถบสีที่ได้จากการวิเคราะห์ให้เป็นแบบ Contour bands

3.2 การเก็บชุดข้อมูล

ชุดข้อมูลรูปที่เก็บนั้นจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ ชุดข้อมูลรูปที่ใช้ในการฝึกฝนและทดสอบโมเดล, ชุดข้อมูลรูปที่ใช้ในการทำ Annotation, และชุดข้อมูลรูปสำหรับให้โมเดลทำนายบริเวณที่เกิดความเข้มของความเค้นบนเพลลา โดยชุดข้อมูลที่ใช้ในการฝึกฝนและทดสอบโมเดลและทำ Annotation จะไม่มีรูปที่ซ้ำกันหรือคล้ายกันกับชุดข้อมูลสำหรับให้โมเดลทำนายบริเวณที่เกิดความเข้มของความเค้น

3.2.1 ชุดข้อมูลรูปที่ใช้ในการฝึกฝนและทดสอบโมเดล

ชุดข้อมูลประเภทนี้ได้จากการบันทึกภาพเพลลาใน 2 ลักษณะคือ รูปจากทั้งแบบจำลองเพลลาและเพลลาจริงที่ไม่ถูกโมเมนต์บิดกระทำและไม่เกิดความเสียหาย



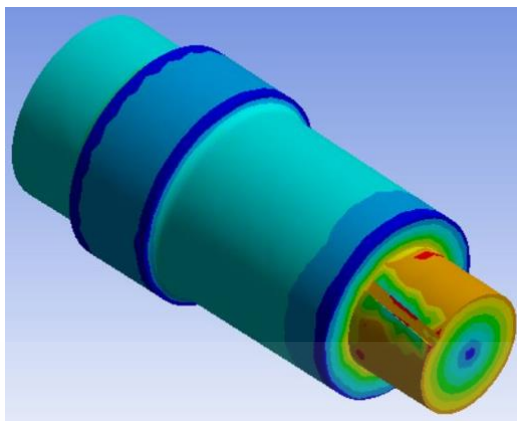
รูปที่ 3.11 รูปของแบบจำลองเพลลาที่ไม่ถูกโมเมนต์บิดกระทำและไม่เกิดความเสียหาย



รูปที่ 3.12 รูปเพลลาจริง [23]

3.2.2 ชุดข้อมูลรูปที่ใช้ในการทำ Annotation

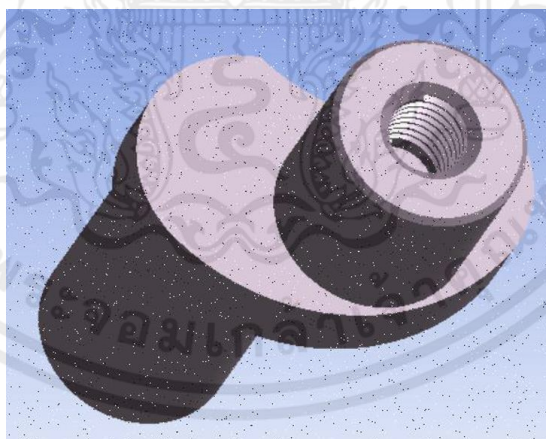
ชุดข้อมูลที่ใช้ในการทำ Annotation จะได้จากการบันทึกรูปของแบบจำลองเพลลาที่ถูกวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ Ansys ที่มีตำแหน่ง 3 มิติของแบบจำลองตรงกับแบบจำลองก่อนทำการวิเคราะห์ในทุกรูป เพื่อให้สามารถทำ Annotation ได้แม่นยำมากที่สุด โดยจำนวนรูปในส่วนนี้จะเท่ากับจำนวนรูปในหัวข้อที่ 3.2.1



รูปที่ 3.13 รูปของแบบจำลองที่ถูกวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ Ansys

3.2.3 การเพิ่มชุดข้อมูลด้วย Roboflow [38]

Roboflow คือโครงการทำงานของ Computer Vision ซึ่งสามารถสะดวกในการเก็บข้อมูล เพราะสามารถปรับแต่งชุดข้อมูลรูปได้ในหลายรูปแบบเช่น เบลอรูป หมุนรูป เปลี่ยนสีรูป เป็นต้น นอกจากนี้ยังทำ Annotation ให้พร้อมกับการปรับแต่งข้อมูลได้ และเนื่องจากการทำนายของ โมเดลอย่างความเข้มของความเค้นนั้นมีความซับซ้อนจึงต้องใช้ข้อมูลรูปเพิ่ม และจากบทที่ 4 หลังจากที่ได้ทำการเทรนข้อมูลของโมเดลที่ 1 ด้วยแบบจำลอง 400 รูป ได้มีการปรับเปลี่ยนชุด ข้อมูลโดยใช้ Roboflow เพิ่มจำนวนข้อมูลทั้งสิ้นเป็น 1480 รูป ในโมเดลที่ 2 เพราะต้องการเพิ่ม ประสิทธิภาพของโมเดล

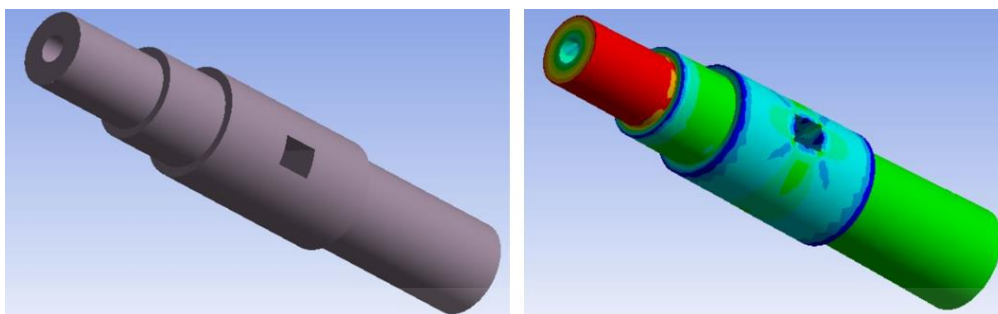


รูปที่ 3.14 รูปที่ได้จากการปรับแต่งด้วย Roboflow

3.2.4 ชุดข้อมูลรูปสำหรับให้โมเดลทำนาย

ชุดข้อมูลนี้จะได้จากการบันทึกรูปของแบบจำลองเพลลาที่ไม่ถูกโมเมนต์บิดกระทำและไม่เกิดความเสียหายและจากรูปของเพลลาจำนวน 10 รูป และรูปจากการวิเคราะห์แบบจำลองดังกล่าว 10 รูปสำหรับเทียบผลของการทำนายในแต่ละรูป โดยจะแตกต่างจากรูปของข้อมูลรูปที่ใช้ในการฝึกฝน และทดสอบโมเดลเพื่อให้ผลตามความเป็นจริงมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



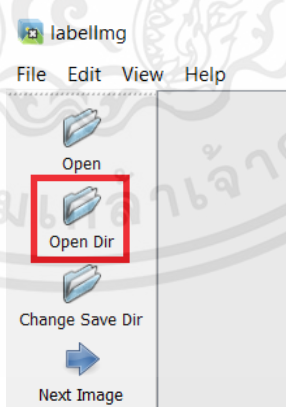
รูปที่ 3.15 รูปสำหรับให้โมเดลทำนาย

3.3 Annotation และขั้นตอนการทำ

การทำ Annotation คือการระบุตำแหน่งและกำหนดชื่อของสิ่งที่เราสนใจ หรือการ Label ด้วยการกรอบบริเวณต่างๆ บนรูปที่เตรียมไว้ โดยการทำ Annotation นั้นมีให้เลือกทำได้บนหลายซอฟต์แวร์ โดยโปรเจกของเราใช้ Labellmg ซึ่งสะดวกและสามารถทำบนโปรแกรม Python ได้ทันที

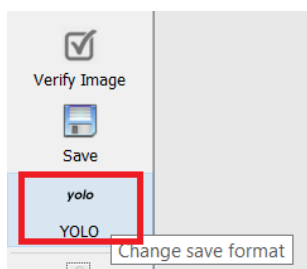
สำหรับบริเวณที่เราสนใจคือ บริเวณที่มีความเข้มของความเค้น (Stress Concentration) ที่อยู่บนแบบจำลองเพลลาเมื่อถูกโมเมนต์บิดกระทำ โดยกรอบบริเวณที่มีความเข้มของความเค้นตั้งแต่ 60% ขึ้นไปของความเข้มของความเค้นสูงสุด แล้วกำหนดให้เป็นบริเวณที่มีความเสี่ยง (Risk) ซึ่งจากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ Ansys บริเวณดังกล่าวจะมีสีเหลืองอมเขียว, สีเหลือง, สีส้ม, และสีแดง เรียงจากความเข้มของความเค้นจากน้อยไปมากตามลำดับ โดยมีขั้นตอนการทำได้ดังนี้

1. เปิดโปรแกรม Labellmg และเลือกโฟลเดอร์หรือไฟล์ที่ต้องการทำ Annotation



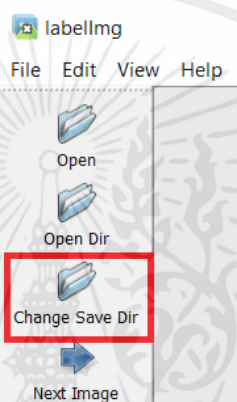
รูปที่ 3.16 เลือกโฟลเดอร์หรือรูปที่ต้องการทำ Annotation

2. เลือกประเภทไฟล์ Annotation เป็น format ของ YOLO



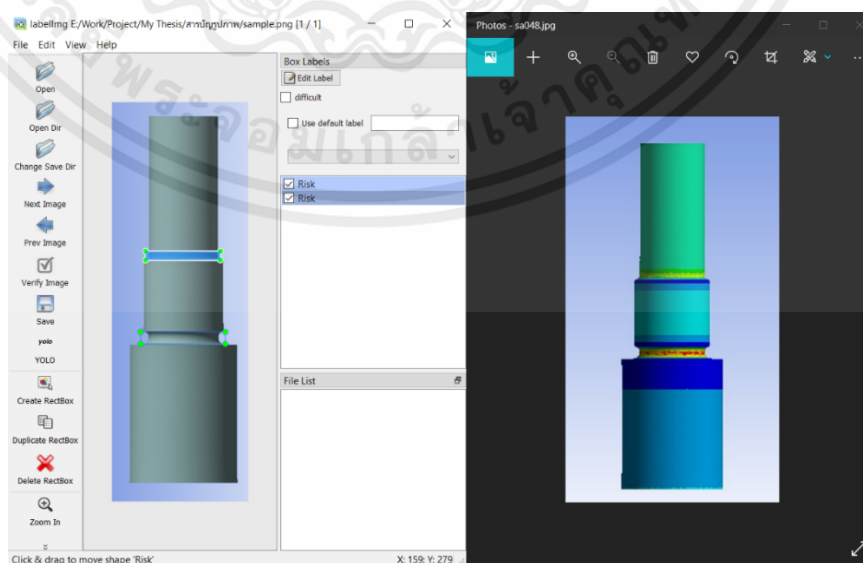
รูปที่ 3.17 เลือก format ไฟล์ Annotation ให้เป็น YOLO

3. เลือกโฟลเดอร์ที่ต้องการบันทึกไฟล์ Annotation



รูปที่ 3.18 เลือกโฟลเดอร์ที่ต้องการบันทึกไฟล์ Annotation

4. เปิดรูปของชุดข้อมูลที่ใช้ในการทำ Annotation เทียบกับรูปที่เปิดในโปรแกรม LabelImg แล้วทำการกรอบบริเวณที่มีความเข้มของสีแดงตั้งแต่ 60% ขึ้นไปของความเข้มของสีแดงสูงสุด



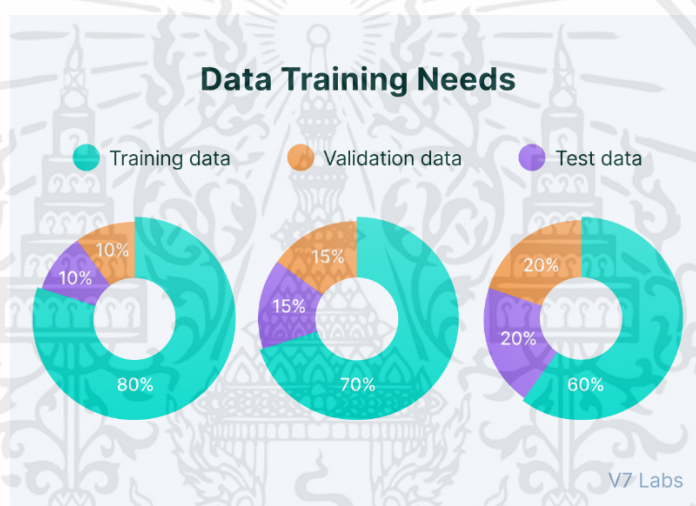
รูปที่ 3.19 บริเวณที่เป็นสีเหลืองอมเขียว, สีเหลือง, สีส้ม, และสีแดงจะมีความเสี่ยง (Risk)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การฝึกฝนและทดสอบข้อมูล

3.4.1 การแบ่งชุดข้อมูลสำหรับฝึกฝนและทดสอบ

ข้อมูลรูป 400 รูปจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ Training, Validate training, และ Testing ตามบทความในปี ค.ศ.2019 ของ Surapong [8] โดยบทความนี้ได้อธิบายถึงเหตุผลในการแบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 3 ประเภทดังกล่าวเพื่อให้โมเดลนั้นไม่เพียงทำงานได้ดีเฉพาะตอน Training แต่สามารถทำงานได้จริงด้วย นอกจากนี้บทความของ Pragati [36] ในปี ค.ศ.2022 ได้กล่าวอีกด้วยว่าการแบ่งจำนวนข้อมูลในแต่ละส่วนนั้นจำนวนเท่าไรจะดีที่สุดนั้น ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่เราต้องการให้โมเดลทำนาย อย่างไรก็ตามจากบทความนี้ได้มีการยกตัวอย่างสัดส่วนของการแบ่งข้อมูลที่นิยมใช้ดังรูปที่ 3.20

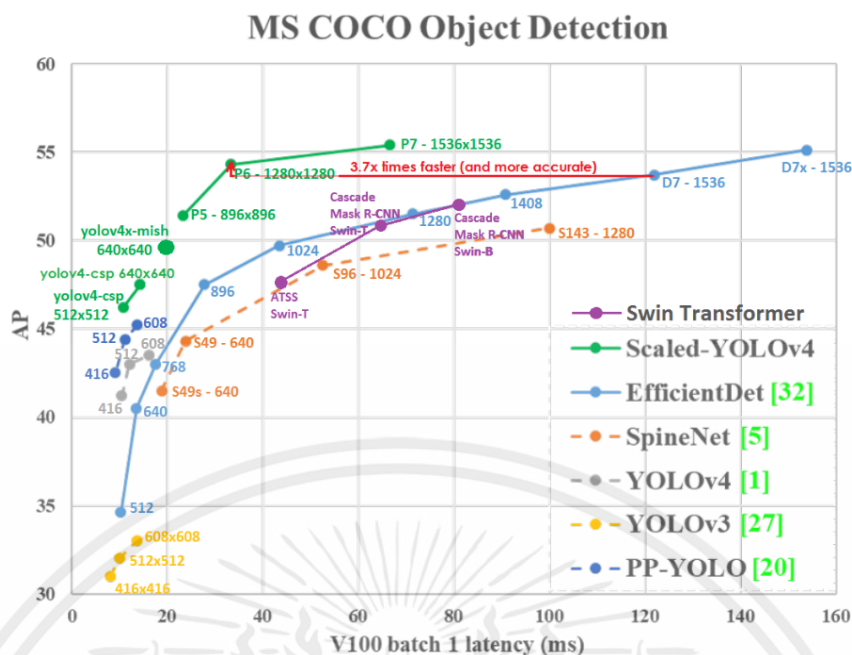


รูปที่ 3.20 สัดส่วนการแบ่งข้อมูลโดยทั่วไปสำหรับ Training, Validation, และ Testing [36]

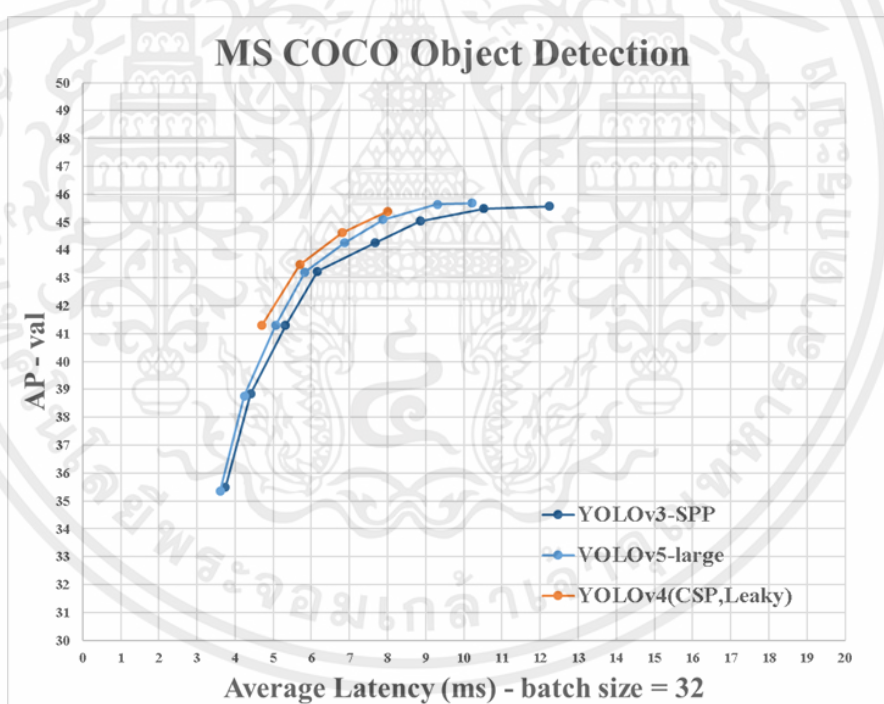
3.4.2 YOLO [28] [36]

YOLO (You Only Look Once) คือ อัลกอริทึมตรวจจับสิ่งต่างๆ (Object detection) ด้วยการแบ่งรูปให้เป็นระบบกริดหรือแบ่งเป็นช่อง โดยมี CNN (Convolution Neural Networks) สำหรับการตรวจจับวัตถุเป็นฐานการพัฒนาอัลกอริทึมนี้

YOLO นั้นได้พัฒนาทั้งความเร็วในการประมวลผล ประสิทธิภาพ และต่อ ยอดจนถึงเวอร์ชันล่าสุดในปี ค.ศ. 2020 นั่นคือ YOLOv5 และจากการใช้งานทั้ง YOLOv3, YOLOv4, และ YOLOv5 นั้น YOLOv5 ให้ความสะดวกมากกว่าสองเวอร์ชันก่อนหน้าซึ่งความแม่นยำของเวอร์ชันที่ 4 และ 5 ไม่ต่างกันจึงเลือกใช้ YOLOv5



รูปที่ 3.21 กราฟแสดงความรวดเร็วและแม่นยำของอัลกอริทึมตรวจจับประเภทอื่นกับ YOLO [15]



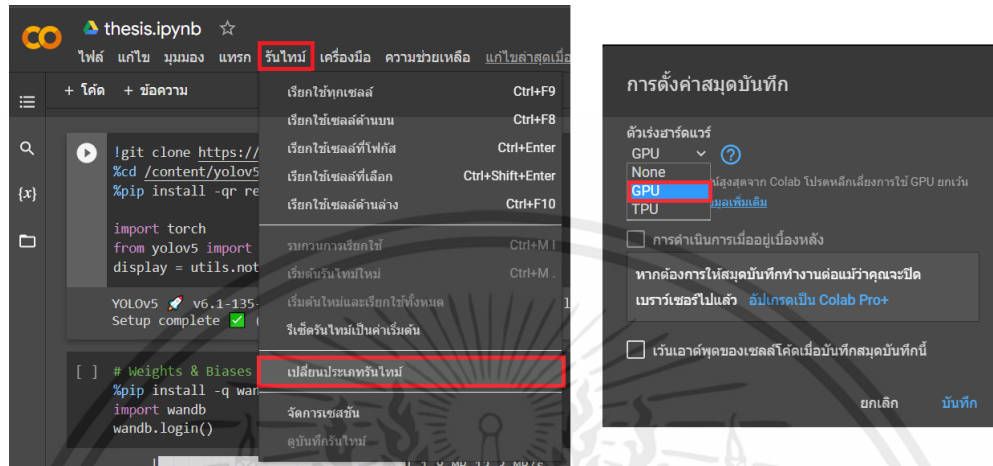
รูปที่ 3.22 กราฟแสดงความรวดเร็วและแม่นยำระหว่างอัลกอริทึมของ YOLO 3 เวอร์ชัน [31]

3.4.3 ขั้นตอนการฝึกฝนและทดสอบโมเดลด้วย YOLOv5 บน Google Colab

เนื่องจากขั้นตอนในการฝึกฝนและทดสอบข้อมูลนั้น เวลาที่ใช้จะขึ้นอยู่กับความซับซ้อนและจำนวนของข้อมูลซึ่งหากใช้หน่วยความจำ CPU ของคอมพิวเตอร์จะใช้เวลานานมาก จึงจำเป็นต้องใช้ GPU ในการประมวลผลแทนและเพื่อความสะดวกในการดำเนินงานดังนั้นการใช้ GPU ของ Google Colab จึงเป็นตัวเลือกที่เหมาะสม

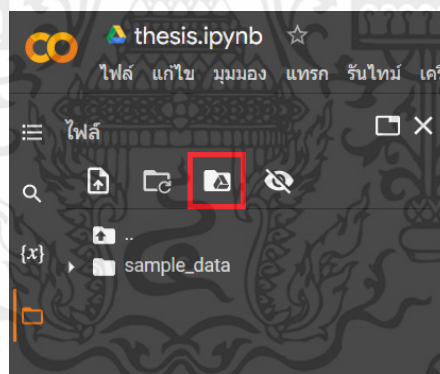
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เริ่มต้นด้วยการอัปโหลดรูปสำหรับฝึกฝนและทดสอบโมเดล ไฟล์ Annotation บน Google drive โดยแยกโฟลเดอร์ของรูปและไฟล์ Annotation เป็น images และ labels ตามลำดับ จากนั้นเปิด Google Colab แล้วเป็นรันไทม์เป็น GPU



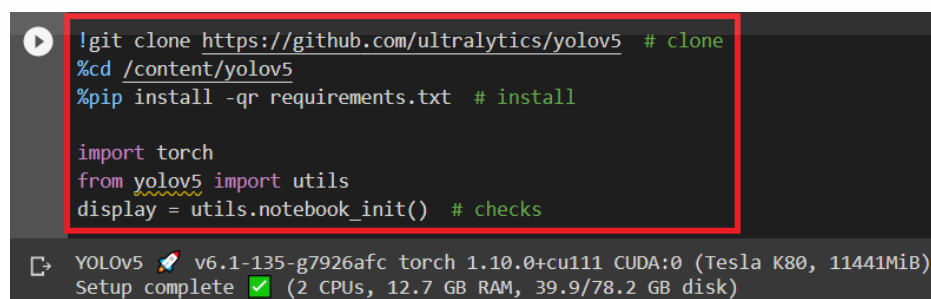
รูปที่ 3.23 เปลี่ยนรันไทม์เป็น GPU

2. เชื่อมต่อกับ Google drive เพื่อให้ Google Colab สามารถใช้ข้อมูลรูปที่เตรียมไว้ได้



รูปที่ 3.24 เชื่อมต่อกับ Google drive บน Google Colab

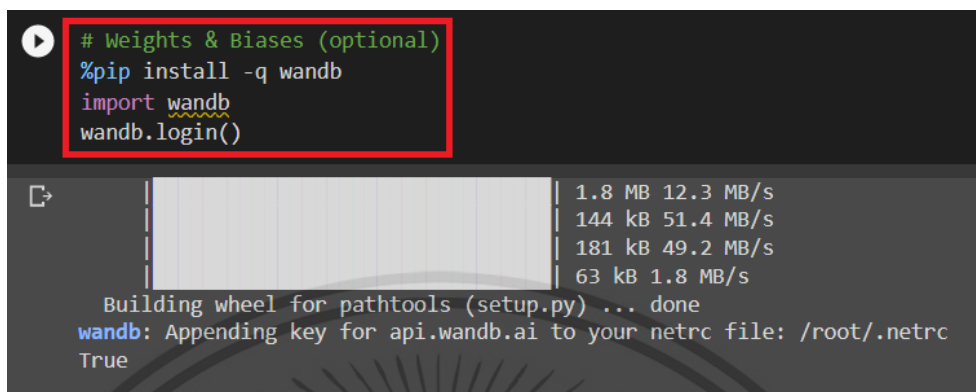
3. ทำการใส่โค้ดสำหรับ install YOLOv5 จาก Glenn Jocher [25]



รูปที่ 3.25 ใส่โค้ดสำหรับ install YOLOv5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. install wandb ซึ่งเอาไว้สำหรับแสดงผลในการฝึกฝนและทดสอบของโมเดลบนหน้าเว็บไซต์ Weights & Biases ด้วยโค้ดจาก Glenn Jocher [25]

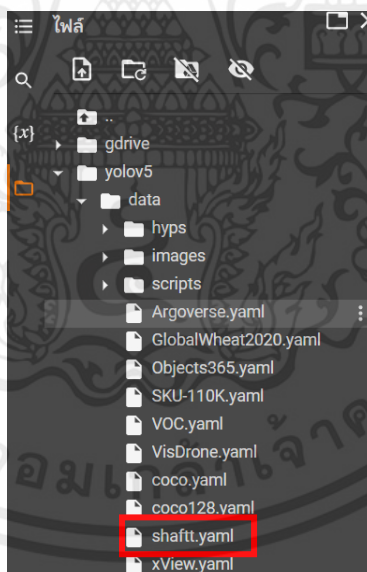


```
# Weights & Biases (optional)
%pip install -q wandb
import wandb
wandb.login()
```

Building wheel for pathools (setup.py) ... done
wandb: Appending key for api.wandb.ai to your netrc file: /root/.netrc
True

รูปที่ 3.26 ใส่โค้ดสำหรับ install wandb

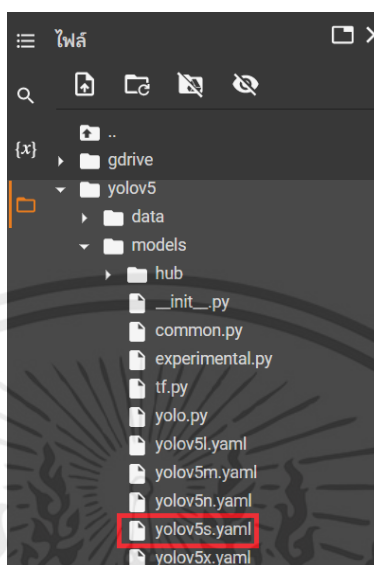
5. อัปโหลดไฟล์ shaft.yaml ใน directory ของ data เพื่อเป็นการบอกตำแหน่งโพลเดอร์ที่เก็บชุดข้อมูลสำหรับ Training, Validation Training, และ Testing และประเภทของสิ่งที่เราสนใจคือ ความเสี่ยง (Risk) เพียงอย่างเดียว



รูปที่ 3.27 Directory ของไฟล์ shaft.yaml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. แก้ไขข้อมูลไฟล์ yolo5s.pt ใน directory ชื่อ model โดยเปลี่ยนค่าของ nc หรือ Number of Classes เป็น 2



รูปที่ 3.28 Directory ของไฟล์ yolo5s.pt

7. ใส่โค้ดสำหรับฝึกฝนและทดสอบจาก Glenn Jocher [25]

```
# Train YOLOv5s on SHAFIT01 for 200 epochs
!python train.py --img 416 --batch 32 --epochs 200 --data shaftt01.yaml --weights yolo5s.pt
```

รูปที่ 3.29 ตัวอย่างโค้ดสำหรับฝึกฝนและทดสอบโมเดล

หลังจากการฝึกฝนและทดสอบข้อมูลสามารถแล้วจะสรุปผลของโมเดลในการฝึกฝนและทดสอบแต่ละครั้งและสามารถเข้าไปดูผลดังกล่าวเพิ่มเติมได้ที่ URL ของเว็บไซต์ Weights & Biases

```
wandb: Run summary:
wandb:   best/epoch 24
wandb:   best/mAP_0.5 0.12207
wandb:   best/mAP_0.5:0.95 0.05208
wandb:   best/precision 0.28554
wandb:   best/recall 0.19359
wandb:   metrics/mAP_0.5 0.12186
wandb:   metrics/mAP_0.5:0.95 0.05206
wandb:   metrics/precision 0.28263
wandb:   metrics/recall 0.19375
wandb:   train/box_loss 0.02134
wandb:   train/cls_loss 0.0
wandb:   train/obj_loss 0.01361
wandb:   val/box_loss 0.07575
wandb:   val/cls_loss 0.0
wandb:   val/obj_loss 0.04023
wandb:   x/lr0 0.00391
wandb:   x/lr1 0.00391
wandb:   x/lr2 0.00391
wandb:
wandb: Synced stoic-bird-42: https://wandb.ai/yellow-spk/YOLOv5/runs/3tefulia
wandb: Synced 5 W&B file(s), 20/ media file(s), 1 artifact file(s) and 0 other file(s)
wandb: Find logs at: ./wandb/run-20220501_163302-3tefulia/logs
Results saved to runs/train/exp2
```

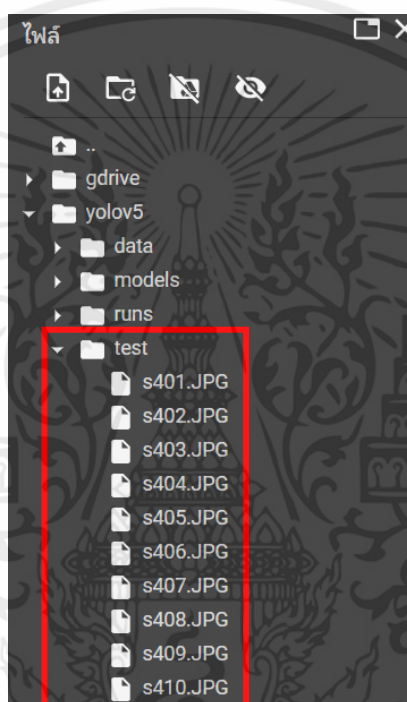
รูปที่ 3.30 URL ของเว็บไซต์จะอยู่ที่บรรทัดล่างสุดหลังการฝึกฝนและทดสอบในแต่ละครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การทำนายบริเวณที่เกิดความเข้มของความเค้นบนเพลาด้วยโมเดลที่ฝึกฝนและทดสอบแล้ว

หลังจากได้โมเดลที่ฝึกฝนและทดสอบแล้ว (Pretrained model) ด้วยชุดข้อมูลดังกล่าว การวัดผลว่าโมเดลสามารถใช้งานได้หรือไม่นั้นจะใช้ชุดข้อมูลสำหรับให้โมเดลทำนายที่ได้เตรียมไว้ 10 รูป โดยจะกระบวนกรนี้จะใช้ YOLOv5 บน Google Colab เช่นเดียวกัน โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. อัปโหลดรูปที่ต้องการให้โมเดลทำนายลงบน Directory ของ yolov5 แล้วตั้งชื่อโฟลเดอร์ว่า test



รูปที่ 3.31 อัปโหลดรูปที่ต้องการให้โมเดลทำนายลงบน Google drive

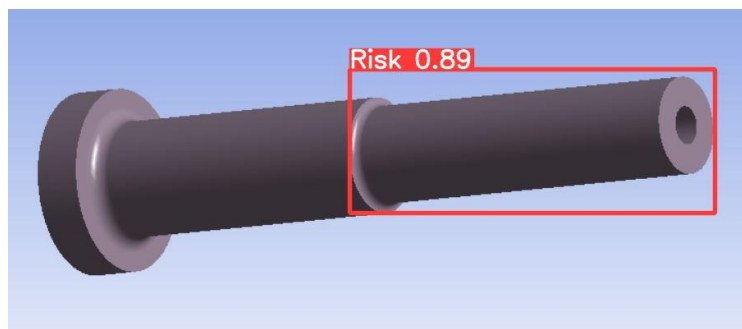
2. ใส่โค้ดจากผู้พัฒนา Glenn Jocher [25]

```
!python detect.py --weights /content/yolov5/runs/train/exp3/best.pt --img 416 --conf 0.25 --source /content/yolov5/test
```

รูปที่ 3.32 ตัวอย่างโค้ดสำหรับให้โมเดลทำนายรูปที่เตรียมไว้

3. หลังจากโมเดลทำการทำนายแล้วจะให้ผลออกมาเป็นรูปที่ถูกกรอบด้วยสี่เหลี่ยมบนบริเวณที่โมเดลทำนายว่าน่าจะเป็นสิ่งที่เราสนใจโดยบอกเป็นค่าความมั่นใจ (Confidence) ที่อยู่บนกรอบสี่เหลี่ยม ซึ่งสิ่งที่เราต้องการในที่นี้ก็คือ บริเวณที่มีความเข้มของความเค้นตั้งแต่ 60% ขึ้นไปของความเค้นสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.33 รูปตัวอย่างจากการทำนายด้วยโมเดล

4. นำรูปที่ได้ในขั้นตอนที่ 3 ไปเทียบกับรูปที่ได้จากการวิเคราะห์บนซอฟต์แวร์ Ansys เพื่อทดสอบว่าโมเดลสามารถทำนายได้ถูกต้องมากน้อยเพียงใด เพราะผลที่ได้จาก metrics นั้นเป็นเพียงการแสดงประสิทธิภาพในด้านต่างๆ ของโมเดลที่ฝึกฝนและทดสอบแล้วเท่านั้น

บทที่ 4

อภิปรายผล

เนื่องการผลที่ได้จากขั้นตอนการดำเนินงานนั้นจะเป็นผลของประสิทธิภาพโมเดลเพียงอย่างเดียวจึงต้องมีการวัดผลด้วยการใช้งานจริงคือให้โมเดลทำนายรูปเพลาจริงหรือแบบจำลองของเพล่า และหากผลการทำนายถูกต้องก็ถือว่าบรรลุตามเป้าหมาย

ในส่วนของการวัดประสิทธิภาพของโมเดลที่ฝึกฝนและทดสอบแล้ว (Pretrained Model) จะใช้ metrics อย่าง mAP_0.5 (Accuracy) หรือ PR-curve, Precision, Recall, loss ในการวัดประสิทธิภาพ โดยเกณฑ์ของค่าวัดประสิทธิภาพเป็นไปดังนี้

1. mAP_0.5 = mean average precision ซึ่งบอกถึงความแม่นยำ (Accuracy) สามารถดูได้จากพื้นที่ใต้กราฟ (AUC) ของ precision-recall(PR-curve)
 - $AUC \leq 0.50$: โมเดลทำงานเทียบเท่ากับการเดาสุ่ม
 - $AUC > 0.70$: โมเดลทำงานได้ตามมาตรฐาน
 - $AUC > 0.80$: โมเดลทำงานได้ดี
 - $AUC > 0.90$: โมเดลทำงานได้ดีมาก
2. Precision = บอกถึงว่าโมเดลนั้นทำนายถูกกี่เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับจำนวนครั้งที่โมเดลทำนายว่าบริเวณนั้นมีความเสี่ยง
3. Recall = บอกถึงว่าโมเดลนั้นทำนายว่ามีบริเวณมีความเสี่ยงถูกกี่เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับของบริเวณที่มีความเสี่ยงจริง
4. train/obj_loss = ค่าความคลาดเคลื่อนของการซ้อนกันของพื้นที่กรอบการทำนายกับกรอบที่เราทำในขั้นตอน Annotation
5. train/box_loss = ค่าความคลาดเคลื่อนของกรอบการทำนาย ที่ไม่สามารถกรอบบริเวณที่มีความเสี่ยงได้พอดี

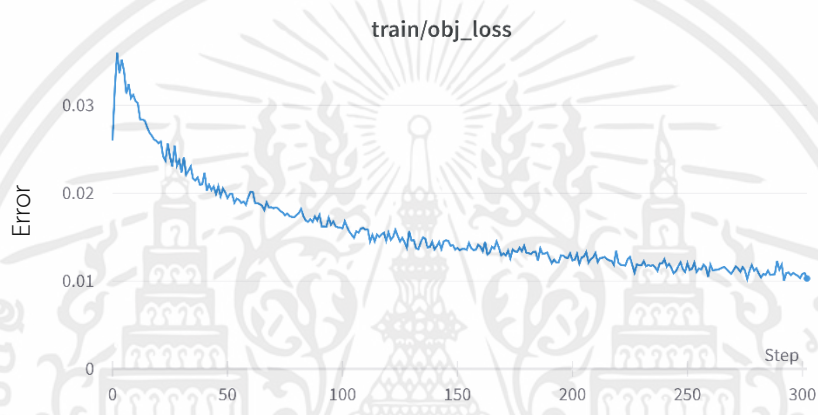
4.1 โมเดลที่ฝึกฝนและทดสอบด้วยข้อมูลรูป 400 รูป (โมเดลที่ 1)

การฝึกฝนและทดสอบข้อมูลของโมเดลมีรอบเดียว 500 epochs หรือ 6,250 ครั้ง และมีอัตราส่วนของข้อมูลเป็น 80 : 10 : 10 โดยใช้โค้ดคำสั่งและพารามิเตอร์ต่างๆ ดังภาคผนวก ข. โดยข้อมูลรูปของเพล่าที่ใช้ในการฝึกฝน, ไฟล์ Annotation, และรูปผลการทำนาย ของเพล่าทั้งหมดของโมเดลที่ 1 สามารถดูเพิ่มเติมได้ที่ [1]

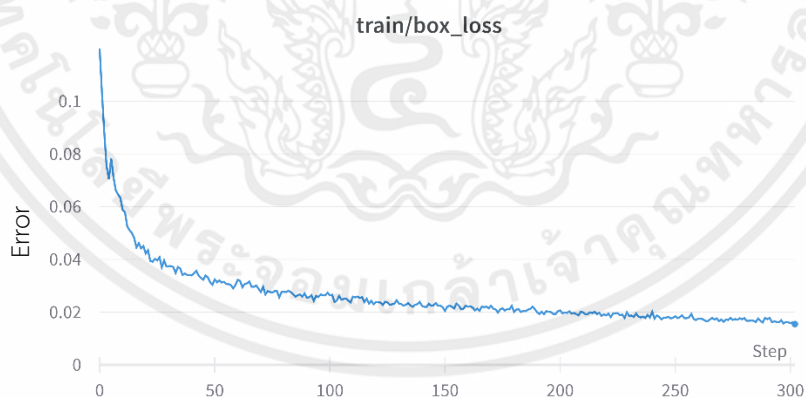
4.1.1 ประสิทธิภาพของโมเดล

mAP_0.5	0.12511
precision	0.28127
recall	0.19813
train/obj_loss	0.01029
train/box_loss	0.01547

ตารางที่ 4.1 ค่าสำหรับวัดประสิทธิภาพของโมเดลที่ 1

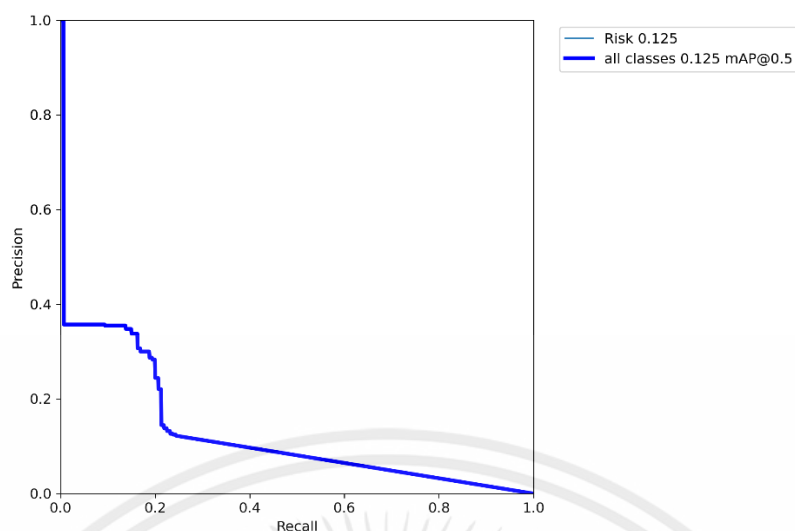


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลของ train/obj_loss



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลของ train/box_loss

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

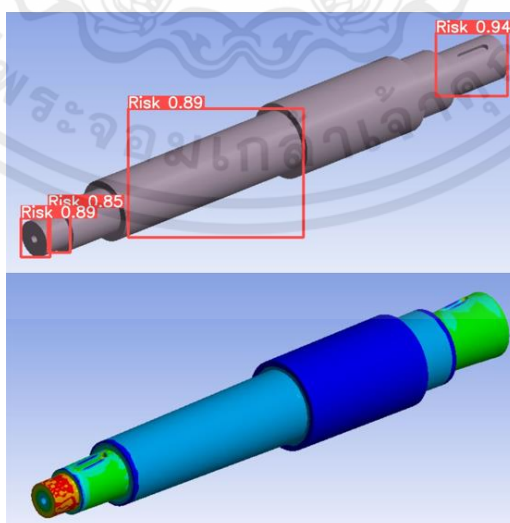


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลของ PR-curve

จากตารางที่ 4.1 โมเดลมีค่าความแม่นยำประมาณ 12.5% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำเปรียบได้กับการเดาสุ่ม ถึงแม้จะมีแนวโน้มของค่า loss ทั้งสองแบบที่ลดลงดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 ก็ตามดังนั้น โมเดลนี้ยังไม่เหมาะกับการนำไปใช้อย่างยิ่ง โดยสาเหตุที่โมเดลมีประสิทธิภาพต่ำคาดว่าอาจเกิดจากข้อมูลที่ใช้ในการฝึกฝนน้อย จึงทำการทดลองปรับปรุงโมเดลตามหัวข้อที่ 4.2

4.1.1 ผลจากการทำนาย

จากการทำนาย 10 รูป สามารถทำนายได้ถูกต้องประมาณ 53.8% อย่างไรก็ตามโมเดลยังไม่สามารถทำนายได้อย่างถูกต้องเท่าที่ควรเนื่องจากบางรูปมีการทำนายเกินมา 2 บริเวณคือบริเวณสีฟ้าและสีเขียวดังรูปตัวอย่างที่ 4.3



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบระหว่างผลการทำนายกับรูปการวิเคราะห์ความเข้มของความเสี่ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 เพิ่มข้อมูลและขั้นตอนการฝึกฝนและทดสอบโมเดล (โมเดลที่ 2)

จากประสิทธิภาพของโมเดลที่ 1 นั้นต่ำ อีกทั้งยังไม่สามารถทำนายผลได้อย่างถูกต้อง ทางคณะผู้จัดทำจึงมีการเพิ่มชุดข้อมูลด้วย Roboflow [38] รวมไปถึงปรับขั้นตอนการฝึกฝนและทดสอบออกเป็น 4 รอบ โดยในทุกครั้งที่เริ่มรอบถัดไปจะนำรูปจากรอบก่อนหน้ามาใช้ในการฝึกฝนครั้งหนึ่งเพื่อให้โมเดลมีข้อมูลเดิมเป็นอ้างอิงจนครบ 4 รอบ (โมเดลได้ฝึกฝนและทดสอบครบทุกรูปพอดี 1480 รูป) ซึ่งใช้โค้ดคำสั่งและค่าพารามิเตอร์ดังภาคผนวก ค. เพื่อต้องการเพิ่มทั้งประสิทธิภาพของโมเดลและความแม่นยำในการทำนายเมื่อใช้จริง และข้อมูลรูปของเพลลาที่ใช้ในการฝึกฝน, ไฟล์ Annotation, และรูปผลการทำนายของเพลลาทั้งหมดของโมเดลที่ 2 สามารถดูเพิ่มเติมได้ที่ [2] โดยมีอัตราส่วนข้อมูลสำหรับฝึกฝนและทดสอบโดยประมาณคือ 85 : 5 : 10 และมีรายละเอียดของการฝึกฝนแต่ละรอบดังนี้

รอบที่	จำนวนรูป	epochs	จำนวนครั้งที่ฝึกฝนและทดสอบ
1	320	200	2,000
2	160 + 320	80	1,200
3	80 + 160 + 320	200	3,500
4	40 + 80 + 160 + 320	200	3,750

ตารางที่ 4.2 รายละเอียดการฝึกฝนและทดสอบข้อมูลของโมเดล 4 รอบ

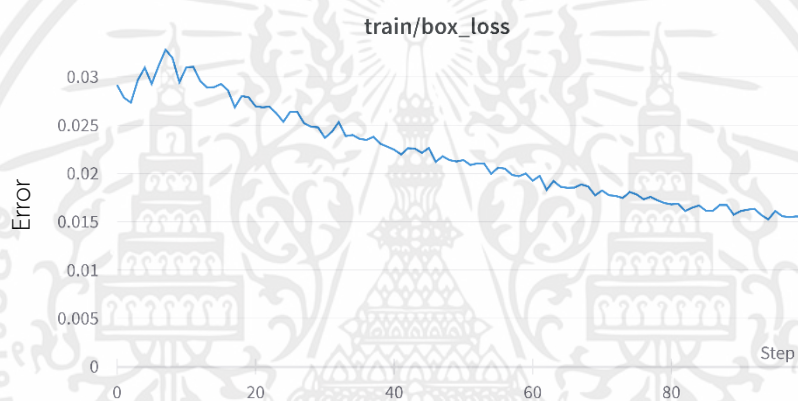
4.2.1 ประสิทธิภาพของโมเดล

mAP_0.5	0.12901
precision	0.22046
recall	0.23437
train/obj_loss	0.00890
train/box_loss	0.01552

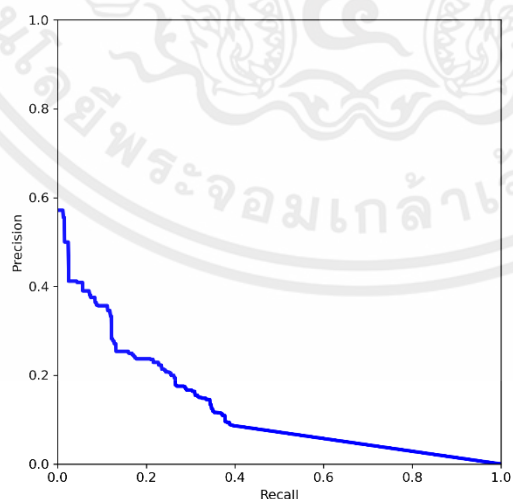
ตารางที่ 4.3 ค่าสำหรับวัดประสิทธิภาพของโมเดลที่ 2



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลของ train/obj_loss



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงผลของ train/box_loss



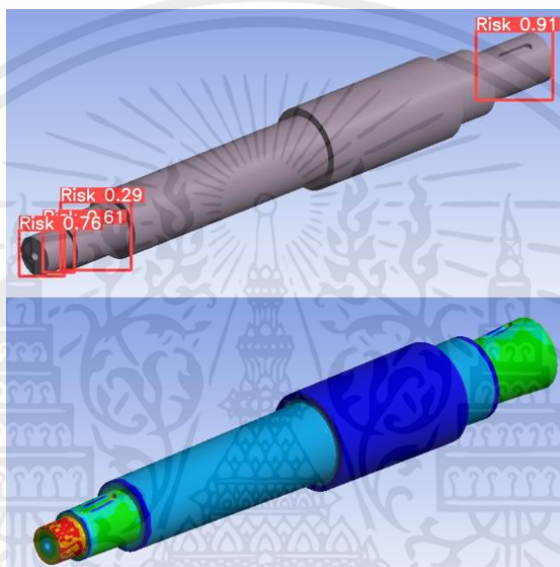
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลของ PR-curve

จากตารางที่ 4.3 ความแม่นยำของโมเดลนั้นอยู่ที่ 12.9% ซึ่งเพิ่มขึ้นจากโมเดลที่ 1 เล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จนไม่มีนัยสำคัญ รวมถึงค่าวัดประสิทธิภาพโดยรวมไม่ต่างจากโมเดลเดิมมากนักถึงและมีค่า train/box_loss ที่แสดงถึงความคลาดเคลื่อนของกรอบการทำนายบริเวณที่มีความเสี่ยงเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งโดยรวมแล้วโมเดลไม่เหมาะแก่การใช้งานจริงเช่นเดียวกัน ดังนั้นทางคณะจัดทำจึงคาดว่าอาจเกิดจากความซ้ำซ้อนของข้อมูลที่บางรูปมีความคล้ายกัน จึงได้ทำการฝึกฝนข้อมูลในรูปแบบใหม่ตามหัวข้อที่ 4.3

4.2.2 ผลจากการทำนาย



รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบระหว่างผลการทำนายกับรูปการวิเคราะห์ความเข้มของความเสี่ยง

จากรูปที่ 4.6 เป็นเพียงหนึ่งใน 10 รูปที่เปรียบเทียบผลการทำนายกับการวิเคราะห์ความเข้มของความเสี่ยง โดยผลการทำนายจาก 10 รูป ทำนายถูกต้องประมาณ 53.8% ซึ่งไม่ต่างจากการทำนายของโมเดลที่ 1 ดังนั้นโดยรวมคือยังไม่สามารถนำไปใช้งานได้

4.3 โมเดลที่ถูกปรับปรุงข้อมูลและโค้ดคำสั่ง (โมเดลที่ 3)

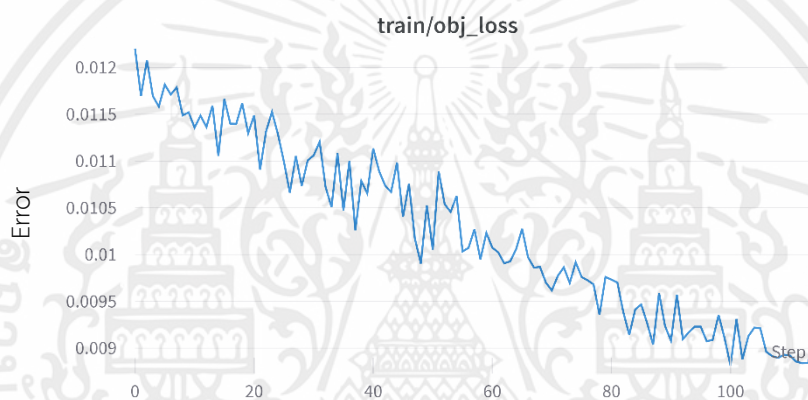
จากโมเดลที่ 2 ประสิทธิภาพและผลการทำนายนั้นไม่ได้ต่างจากโมเดลที่ 1 เนื่องจากพบว่ามี ความซ้ำซ้อนของข้อมูลในหัวข้อที่ 4.2 ทางคณะผู้จัดทำจึงได้มีการปรับปรุงโมเดล โดยโมเดลนี้มีการฝึกฝนกับข้อมูลเพียง 1 รอบ 300 epochs หรือประมาณ 14,625 ครั้ง ทั้งหมด 1560 รูป ที่มีอัตราส่วนของข้อมูล คือ 80 : 10 : 10 โดยประมาณ โดยเน้นการลดความซ้ำซ้อนของข้อมูลทั้งหมด และเพิ่มการกระจายของข้อมูลระหว่าง train กับ validation นอกจากนี้ยังมีการปรับโค้ดคำสั่งเล็กน้อยเพื่อเพิ่มความละเอียดของการฝึกฝนข้อมูลรูป จาก 416 เป็น 640 ดังโค้ดคำสั่งในภาคผนวก ง. โดยข้อมูลรูปของเพลลาที่ใช้ในการฝึกฝน, ไฟล์ Annotation, และรูปผลการทำนาย ของเพลลาทั้งหมดของโมเดลที่ 3 สามารถดูเพิ่มเติมได้ที่ [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

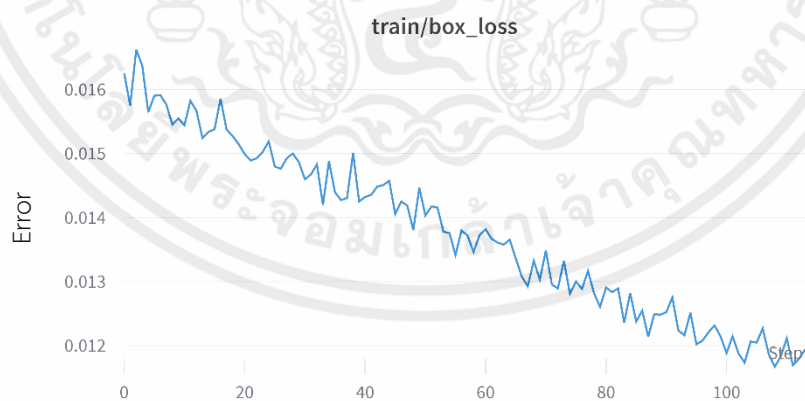
4.3.1 ประสิทธิภาพของโมเดล

mAP_0.5	0.49657
precision	0.61041
recall	0.42430
train/obj_loss	0.00905
train/box_loss	0.01201

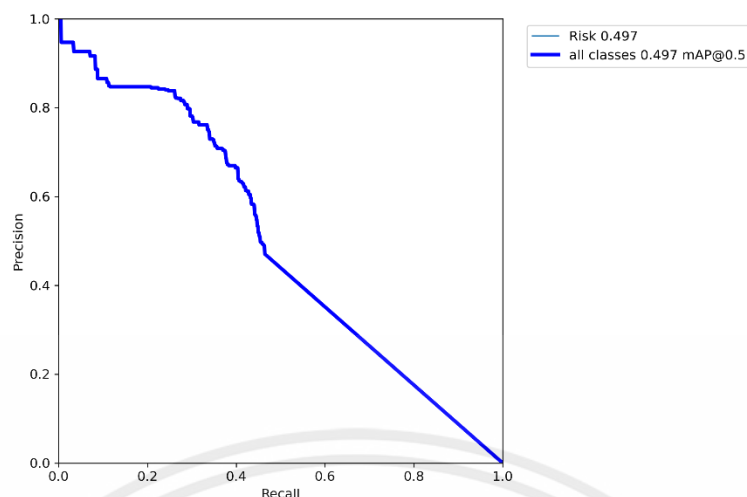
ตารางที่ 4.4 ค่าสำหรับวัดประสิทธิภาพของโมเดลที่ 3



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงผลของ train/obj_loss



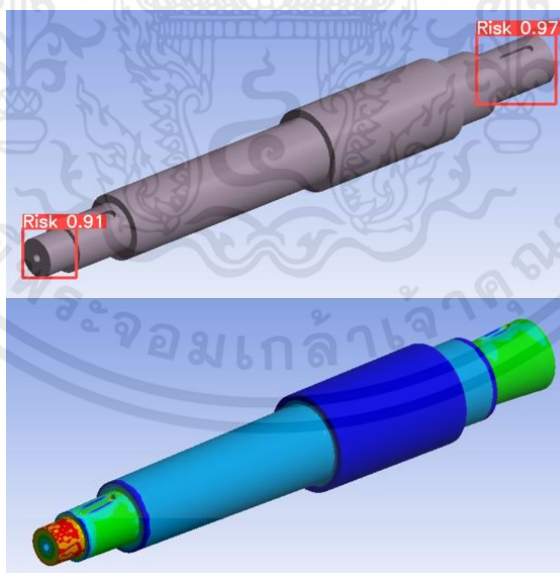
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงผลของ train/box_loss



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงผลของ PR-curve

จากตารางที่ 4.4 นั้นโมเดลมีค่าความแม่นยำประมาณ 49.66% ซึ่งเพิ่มขึ้นจากโมเดลที่ 1 และ 2 อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะเดียวกันค่าวัดประสิทธิภาพอื่นๆ นั้นดีขึ้นเช่นกัน ดังนั้นการลดความซ้ำซ้อนของข้อมูลจึงมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพของโมเดลในทุกประเภท อย่างไรก็ตามเนื่องจากความแม่นยำของโมเดลนี้ยังไม่ถึงเกณฑ์ที่สามารถนำไปใช้ได้

4.3.2 ผลจากการทำนาย



รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบระหว่างผลการทำนายกับรูปการวิเคราะห์ความเข้มของความเค้น

จากรูปที่ 4.12 เป็นเพียง 1 ใน 10 รูปจากการทำนายนั้น โดยสามารถทำนายได้ถูกต้องประมาณ 69.2% ซึ่งภาพรวมการทำนายดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญสามารถทำนายบริเวณที่มีความเสี่ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ในบางรูป ในขณะที่โมเดลอื่นไม่ทำนายบริเวณนั้นหรือทำนายผิดที่

4.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดล

ค่าแสดง ประสิทธิภาพ	โมเดลที่ 1	โมเดลที่ 2	โมเดลที่ 3
mAP_0.5	0.12511	0.12901	0.49657
Precision	0.28127	0.22046	0.61041
Recall	0.19813	0.23437	0.42430
train/obj_loss	0.01029	0.00890	0.00905
train/box_loss	0.01547	0.01552	0.01201

ตารางที่ 4.5 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลที่ 1, 2, และ 3

ประสิทธิภาพ	โมเดลที่ 2	โมเดลที่ 3
mAP_0.5	+0.39%	+296.91%
Precision	-21.61%	+117.02%
Recall	+18.30%	+114.15%
train/obj_loss	-13.51%	-12.05%
train/box_loss	+0.32%	-22.37%

ตารางที่ 4.6 ค่าวัดประสิทธิภาพของโมเดลที่ 2 และ 3 เปรียบเทียบกับโมเดลที่ 1

จากตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการลดความซ้ำซ้อนของข้อมูลทำให้ความแม่นยำและประสิทธิภาพอื่นๆ โดยดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นโมเดลที่ 3 นั้นมีภาพรวมที่ดีที่สุดในเชิงประสิทธิภาพและการทำนาย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการปรับแก้การกระจายของข้อมูลนั้นมีผลมากกว่าการเพิ่มจำนวนข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามทั้งโมเดลที่ 3 นั้นยังไม่สามารถนำไปใช้งานได้

จากการฝึกฝนข้อมูลของโมเดลในรูปแบบต่างๆ เห็นได้ชัดว่าทุกโมเดลมีความแม่นยำที่ไม่ถึงเกณฑ์มาตรฐานทั้งนี้เกิดจากหลายสาเหตุเพราะการฝึกฝนของโมเดลเปรียบได้กับทำแบบฝึกหัดหากผลเฉลยหรือ Annotation นั้นไม่ครอบคลุมหรือละเอียดมากพอก็ทำให้ไม่เข้าใจหรือโมเดลมีประสิทธิภาพที่ลดลงได้ สิ่งที่มีผลอย่างมากกับประสิทธิภาพของโมเดลอีกอย่างคือปัญหาสำหรับให้โมเดลทำนาย เพราะการทำนายบริเวณที่เกิดความเข้มของความเค้นต้องใช้ทั้งความรู้และความชำนาญ ไม่สามารถใช้เพียงสายตาดูอย่างเดียวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาการทำนายความเข้มของความเค้นของเพลาทรงกระบอกที่แรงหรือโมเมนต์บิดกระทำ ด้วย yolov5 บน Google Colab ได้ว่า

1. โมเดลจากการฝึกฝนในรูปแบบต่างๆ ตามหัวข้อที่ 4.1, 4.2, และ 4.3 ยังไม่สามารถทำนาย บริเวณที่เกิดได้ถูกต้องจึงไม่สามารถนำไปใช้งานได้
2. จากการตั้งสมมติฐานสำหรับเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำในการทำนายพบว่า การเพิ่มการกระจายและลดการซ้ำซ้อนของข้อมูลสามารถเพิ่มความแม่นยำได้มากถึง 296.91% จากการฝึกฝนครั้งแรก ในขณะที่การเพิ่มจำนวนข้อมูลนั้นมีผลทำให้ความแม่นยำเพิ่มเพียง 0.39% จากการฝึกฝนครั้งแรก
3. เนื่องจากโมเดลทั้ง 3 แบบนั้นมีประสิทธิภาพที่น้อยและยังไม่สามารถใช้งานได้ จึงยกเลิกแผนการทำงานในการเพิ่มการแยกระดับ 2 ความเสี่ยงออกไป

5.2 วิจารณ์ผลของประสิทธิภาพโมเดล

ผลที่ได้จากการฝึกฝนของทุกโมเดลในรูปแบบต่างๆ นั้นมีประสิทธิภาพที่ต่ำเนื่องจากพบว่าการกระจายของข้อมูลนั้นน้อยและมีความซ้ำซ้อนของข้อมูล太多 จึงทำให้ค่าการวัดประสิทธิภาพของโมเดลนั้นไม่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน อย่างไรก็ตามปัจจัยอื่นที่มีผลกับประสิทธิภาพโมเดลอย่างมีนัยสำคัญได้แก่

1. ปัญหาสำหรับการทำนายของโมเดล เนื่องจากบริเวณที่จะเกิดความเข้มของความเค้นนั้น มีความซับซ้อนเพราะเมื่อเทียบกับมนุษย์ นอกจากจะต้องใช้ตาแล้วยังต้องใช้ทั้งประสบการณ์และความรู้ จึงทำให้ประสิทธิภาพของโมเดลต่ำเป็นทุนเดิม
2. การทำ Annotation นั้นมีผลต่อการฝึกฝนของโมเดลหากกรอบไม่พอดีกับบริเวณที่เราต้องการ จึงทำให้ประสิทธิภาพของโมเดลลดลงได้
3. การฝึกฝน Machine Learning โมเดล ในส่วนนี้มีรายละเอียดปลีกย่อยอีกมาก ซึ่งหากต้องการให้ได้ประสิทธิภาพที่ต้องการจะต้องอาศัยความรู้ความเข้าใจเพิ่มเติมเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์-คอมพิวเตอร์ (Computer science)

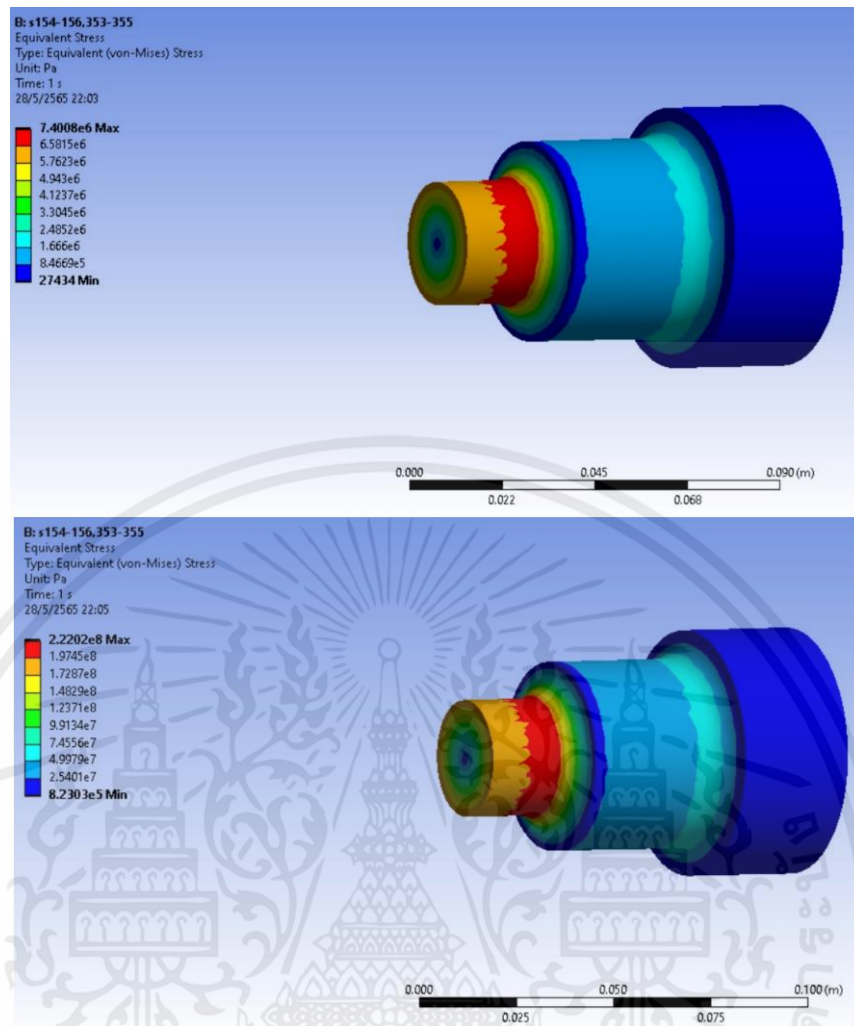
5.3 ปัญหาที่พบ

1. การให้โมเดลทำนายอย่างความเข้มของความเค้นนั้นมีความซับซ้อนในระดับหนึ่ง เพราะหากใช้มนุษย์ในการทำนายก็ต้องใช้ทั้งความรู้และประสบการณ์ ดังนั้นเพื่อให้ได้ความแม่นยำในการทำนายที่สูง ขอบเขตของการศึกษาจึงมีเพียง ความเข้มข้นของความเค้นที่เกิดจากโมเมนต์บิดที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลายบนเพลาทรงกระบอกที่ถูกยึดบนปลายด้านหนึ่งเพียงเท่านั้น

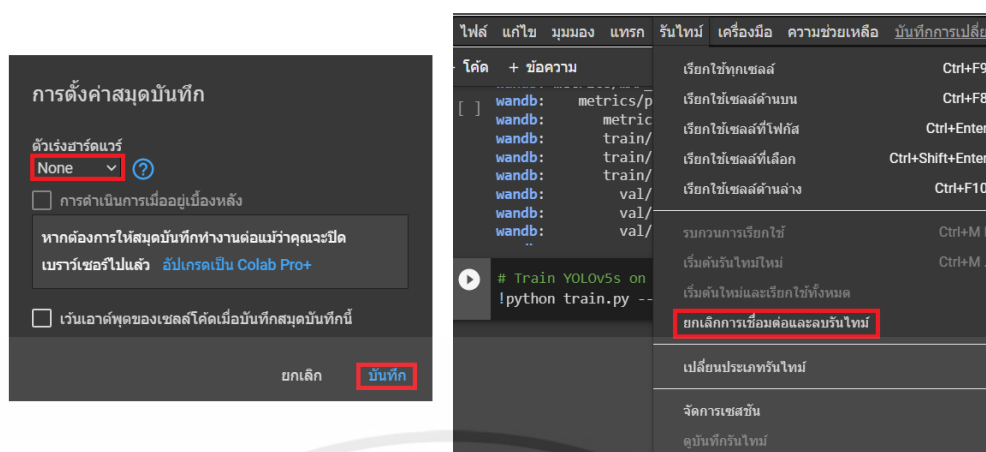
2. เนื่องจากชุดข้อมูลที่ใช้ขึ้นเกี่ยวกับเพลาส่งต้องการทั้งปริมาณและความหลากหลายของรูปซึ่งประกอบไปด้วยรูปแบบจำลองเพลารูปเพลจริง และ Annotation ของรูปแต่ละแบบจำลองจึงต้องสร้างแบบจำลองเพลาทิ้งที่ออกแบบเองและสร้างจากเพลจริง เพราะจะสามารถกำหนดความแตกต่างและมุมมองของเพลได้อย่างอิสระแต่ในทางกลับกันต้องใช้เวลาค่อนข้างนานในเก็บข้อมูลเหล่านี้
3. เนื่องจากการดำเนินงานต้องใช้องค์ความรู้ใหม่อย่าง Deep Learning ในช่วงแรกจึงต้องใช้เวลาในการทำความเข้าใจทั้งตัวซอฟต์แวร์และคู่มือการใช้งาน โดยซอฟต์แวร์ที่ใช้คือ YOLO ซึ่งมีหลายเวอร์ชันจึงทำให้มีการเปลี่ยนเวอร์ชัน 2 ครั้งโดยเริ่มใช้ YOLOv3 เป็นซอฟต์แวร์แรก จากนั้นจึงเปลี่ยนเป็น YOLOv4 และ YOLOv5 ตามลำดับ โดยจากการใช้งาน YOLOv5 จะสะดวกมากกว่าเวอร์ชันอื่นและยังมีความแม่นยำสูง ดังนั้นหากต้องศึกษาองค์ความรู้ใหม่ควรศึกษาให้ละเอียด
4. ด้วยสถานการณ์การระบาดของโรค covid-19 ทำให้การรวบรวมชุดข้อมูลของเพลจริงให้ได้ในจำนวนมากและหลากหลายนั้นเป็นไปได้ยากเพราะต้องมีการเดินทาง ดังนั้นเพื่อจัดการกับปัญหาในส่วนนี้จึงทำการใช้รูปเพลจริงจากเว็บไซต์และบราวเซอร์ต่างๆ มาเป็นแบบในการสร้างแบบจำลองแทน (เนื่องจากต้องใช้ข้อมูลรูปที่ได้จากการวิเคราะห์)
5. เนื่องจากในช่วงแรกของการดำเนินงาน โมเมนต์บิดที่ใช้กระทำบนเพลในการวิเคราะห์ความเข้มของเพลบนซอฟต์แวร์ Ansys นั้นมีขนาดเท่ากันในทุกแบบจำลองซึ่งผลการวิเคราะห์ความเข้มของความเค้นพบว่ามีค่ามากผิดปกติที่ควรจะเป็นเมื่อคำนึงถึงวัสดุของเพล เนื่องจากแบบจำลองที่ใช้มีขนาดที่หลากหลายการใช้แรงขนาดที่เท่ากันในทุกแบบจำลองจึงส่งผลต่อค่าความเข้มของความเค้น ดังนั้นจึงได้มีการแก้ไขโมเมนต์บิดที่กระทำในแต่ละแบบจำลองโดยคำนึงถึงวัสดุและขนาดของแบบจำลอง อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนขนาดของแรงไม่ส่งผลต่อสีของบริเวณที่มีความเข้มของความเค้นตามที่กำหนดดังรูปที่ 5.1 จึงไม่จำเป็นต้องทำ Annotation ใหม่



รูปที่ 5.1 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ความเค้นของความเค้นหลังจากปรับโมเมนต์บิดให้เหมาะสมกับแบบจำลอง

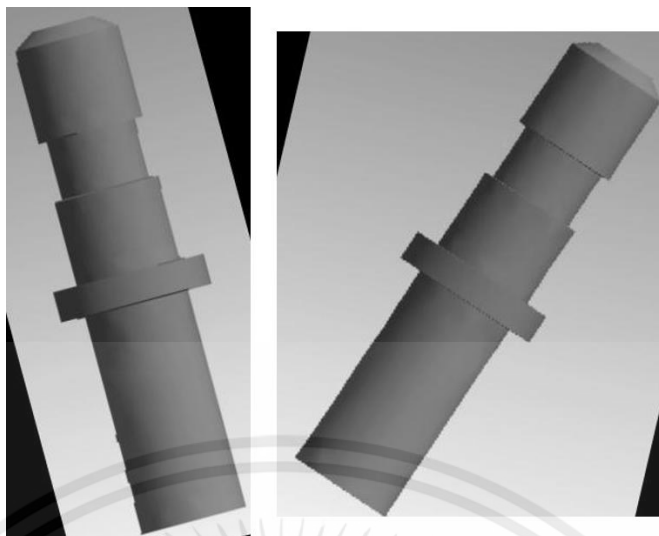
5.4 ข้อเสนอแนะ

1. โดยปกติแล้วหากต้องการใช้ GPU สำหรับ Machine Learning ที่ข้อมูลมีความซับซ้อนหรือจำนวนมากนั้น ควรมี GPU บนคอมพิวเตอร์ ซึ่งถึงแม้การใช้ Google Colab จะเชื่อมต่อกับ GPU ของ Google Colab ซึ่งสะดวกมากกว่าการใช้ GPU บนคอมพิวเตอร์ แต่ต้องระมัดระวังในการใช้ GPU ของ Google Colab แบบไม่เสียค่าใช้จ่าย เนื่องจากการจำกัดเวลาการใช้งานและไฟล์ที่ทำการอัปโหลดนอกเหนือจาก drive ของเราจะหายไปหลังจากเวลาผ่านไปช่วงหนึ่ง ดังนั้นหากต้องการใช้ Google Colab ให้เกิดประโยชน์สูงสุดสำหรับการทำ Machine Learning คือหลังจากบันทึกไฟล์หรือข้อมูลที่จำเป็นเก็บไว้ และทำการปิดการใช้งานรันไทม์ GPU และรีเซ็ตรันไทม์เป็นค่าเริ่มต้นทุกครั้งหลังทำงานเสร็จเพื่อยืดเวลาใช้ GPU ของ Google Colab



รูปที่ 5.2 ยกเลิกการเชื่อมต่อ GPU และรีเซ็ตรันไทม์เป็นค่าเริ่มต้น

2. โปรแกรมหรือซอฟต์แวร์อื่นๆ ที่สามารถใช้แทนในขั้นตอนการดำเนินงานได้ (ขึ้นอยู่กับความสะดวกหรือความชำนาญของแต่ละบุคคล) มีดังนี้
 - ในส่วนของการสร้างแบบจำลองเฟลา โปรแกรมหรือซอฟต์แวร์อื่นที่สามารถใช้ได้เช่น AutoCAD, Autodesk, Solidwork เป็นต้น
 - ในส่วนของการวิเคราะห์แบบจำลองเฟลา โปรแกรมหรือซอฟต์แวร์อื่นที่สามารถใช้ได้เช่น Autodesk, CST Studio Suite เป็นต้น
 - ในส่วนของการทำ Annotation โปรแกรมหรือซอฟต์แวร์อื่นที่สามารถใช้ได้เช่น Roboflow, LabelMe, ImgLab, V7, SuperAnnotate เป็นต้น
 - ในส่วนของการฝึกฝนและทดสอบข้อมูลรูปด้วยโมเดลโปรแกรมหรือซอฟต์แวร์อื่นที่สามารถใช้ได้เช่น YOLOv4, YOLOv3 เป็นต้น
3. ข้อเสนอแนะการเก็บข้อมูลรูปของแบบจำลองเฟลาสำหรับฝึกฝนและทดสอบโมเดลเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการทำนาย ข้อมูลรูปนั้นควรมีความแตกต่างและหลากหลายไม่ควรเหมือนเป็นการหมุนเพียงแค่อุป โดยข้อมูลรูปของแบบจำลองไม่ควรนำมาใช้จะเป็นดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 ตัวอย่างข้อมูลรูปที่มีความซับซ้อน

4. ผลที่ได้จากการฝึกข้อมูลนี้สามารถนำไปพัฒนาได้ทั้งชุดข้อมูลและโมเดลในการฝึกฝนและทดสอบ เพื่อให้ผลการทำนายที่แม่นยำจนสามารถใช้ได้จริง ซึ่งหากถูกนำไปใช้จริงจะสามารถช่วยในการตรวจสอบเพลานำไปใช้งาน หรือเพิ่งเริ่มใช้งานอยู่ได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับ eccentric shaft ที่ถึงแม้จะมีประสบการณ์และความรู้ ก็ยากที่จะบอกได้ว่าบริเวณใดที่จะต้องระวังเป็นพิเศษ หรือแม้แต่ช่วยในการออกแบบเพลาโดยใช้โมเดลนั้นทำนายบริเวณที่มีความเข้มของความเค้นของเพลาที่ออกแบบได้ (หากต้องการทราบบริเวณที่มีความเข้มของความเค้นเท่านั้น เนื่องจากไม่สามารถแสดงค่าดังกล่าวได้)

ภาคผนวก ก.

รายละเอียดและค่าคงตัวของวัสดุที่ใช้ในซอฟต์แวร์ Ansys

Properties of Outline Row 3: Stainless Steel				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	7750	kg m ⁻³	
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
6	Isotropic Elasticity			
7	Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio		
8	Young's Modulus	1.93E+11	Pa	
9	Poisson's Ratio	0.31		
10	Bulk Modulus	1.693E+11	Pa	
11	Shear Modulus	7.3664E+10	Pa	
12	Tensile Yield Strength	2.07E+08	Pa	
13	Compressive Yield Strength	2.07E+08	Pa	
14	Tensile Ultimate Strength	5.86E+08	Pa	
15	Compressive Ultimate Strength	0	Pa	

รูป ก.1 ตารางแสดงค่าคุณสมบัติของ Stainless Steel ที่ใช้ในทุแบบจำลองเพลลา

ภาคผนวก ข.

โค้ดคำสั่งในการฝึกฝนข้อมูลและค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของโมเดลที่ 1

1. โค้ดคำสั่ง:

```
train.py --img 416 --batch 32 --epochs 500 --data shaft.yaml --weights yolov5s.pt
```

2. พารามิเตอร์ของโมเดล:

```
{
  "cfg": {
    "desc": null,
    "value": ""
  },
  "hyp": {
    "desc": null,
    "value": {
      "box": 0.05,
      "cls": 0.5,
      "lr0": 0.01,
      "lrf": 0.01,
      "obj": 1,
      "hsv_h": 0.015,
      "hsv_s": 0.7,
      "hsv_v": 0.4,
      "iou_t": 0.2,
      "mixup": 0,
      "scale": 0.5,
      "shear": 0,
      "cls_pw": 1,
      "fliplr": 0.5,
      "flipud": 0,
      "mosaic": 1,
      "obj_pw": 1,

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    "degrees": 0,
    "anchor_t": 4,
    "fl_gamma": 0,
    "momentum": 0.937,
    "translate": 0.1,
    "copy_paste": 0,
    "perspective": 0,
    "weight_decay": 0.0005,
    "warmup_epochs": 3,
    "warmup_bias_lr": 0.1,
    "warmup_momentum": 0.8
  }
},
"data": {
  "desc": null,
  "value": "/content/yolov5/data/shaftt.yaml"
},
"name": {
  "desc": null,
  "value": "exp"
},
"quad": {
  "desc": null,
  "value": false
},
"rect": {
  "desc": null,
  "value": false
},
"cache": {
  "desc": null,
  "value": null
},

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

"imgsz": {
  "desc": null,
  "value": 416
},
"noval": {
  "desc": null,
  "value": false
},
"_wandb": {
  "desc": null,
  "value": {
    "t": {
      "1": [
        1,
        2,
        3,
        12,
        41,
        55
      ],
      "2": [
        1,
        2,
        3,
        12,
        41,
        54,
        55
      ],
      "3": [
        2,
        16
      ],
    ],
  }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    "4": "3.7.13",
    "5": "0.12.15",
    "8": [
        5
    ]
},
"framework": "torch",
"start_time": 1651404336,
"cli_version": "0.12.15",
"is_jupyter_run": false,
"python_version": "3.7.13",
"is_kaggle_kernel": false,
"bounding_box/class_labels": {
    "BoundingBoxDebugger_wandb_delimeter_predictions": {
        "key": "BoundingBoxDebugger_wandb_delimeter_predictions",
        "type": "bounding_box/class_labels",
        "value": {
            "0": "Risk"
        }
    }
}
},
"bucket": {
    "desc": null,
    "value": ""
},
"cos_lr": {
    "desc": null,
    "value": false
},
"device": {
    "desc": null,

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    "value": ""
  },
  "entity": {
    "desc": null,
    "value": null
  },
  "epochs": {
    "desc": null,
    "value": 500
  },
  "evolve": {
    "desc": null,
    "value": null
  },
  "freeze": {
    "desc": null,
    "value": [
      0
    ]
  },
  "nosave": {
    "desc": null,
    "value": false
  },
  "resume": {
    "desc": null,
    "value": false
  },
  "noplots": {
    "desc": null,
    "value": false
  },
  "project": {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    "desc": null,
    "value": "runs/train"
  },
  "sync_bn": {
    "desc": null,
    "value": false
  },
  "weights": {
    "desc": null,
    "value": "yolov5s.pt"
  },
  "workers": {
    "desc": null,
    "value": 8
  },
  "exist_ok": {
    "desc": null,
    "value": false
  },
  "patience": {
    "desc": null,
    "value": 100
  },
  "save_dir": {
    "desc": null,
    "value": "runs/train/exp"
  },
  "data_dict": {
    "desc": null,
    "value": {
      "nc": 1,
      "val": "/content/gdrive/MyDrive/My thesis project/Torsion 1 risk/val",
      "test": "/content/gdrive/MyDrive/My thesis project/Torsion 1 risk/test",

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    "names": [
        "Risk"
    ],
    "train": "/content/gdrive/MyDrive/My thesis project/Torsion 1 risk/train"
}
},
"optimizer": {
    "desc": null,
    "value": "SGD"
},
"batch_size": {
    "desc": null,
    "value": 32
},
"local_rank": {
    "desc": null,
    "value": -1
},
"single_cls": {
    "desc": null,
    "value": false
},
"multi_scale": {
    "desc": null,
    "value": false
},
"save_period": {
    "desc": null,
    "value": -1
},
"noautoanchor": {
    "desc": null,
    "value": false
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

},
"bbox_interval": {
  "desc": null,
  "value": -1
},
"image_weights": {
  "desc": null,
  "value": false
},
"artifact_alias": {
  "desc": null,
  "value": "latest"
},
"upload_dataset": {
  "desc": null,
  "value": false
},
"label_smoothing": {
  "desc": null,
  "value": 0
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

โค้ดคำสั่งในการฝึกฝนข้อมูลและค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของโมเดลที่ 2

1. โค้ดคำสั่ง:

รอบที่ 1

```
train.py --img 416 --batch 32 --epochs 200 --data shaftt01.yaml --weights yolov5s.pt
```

รอบที่ 2

```
train.py --img 416 --batch 32 --epochs 80 --data shaftt02.yaml --weights  
/content/yolov5/runs/train/exp/weights/best.pt
```

รอบที่ 3

```
train.py --img 416 --batch 32 --epochs 200 --data shaftt03.yaml --weights  
/content/yolov5/runs/train/exp2/weights/best.pt
```

รอบที่ 4

```
train.py --img 416 --batch 32 --epochs 200 --data shaftt04.yaml --weights  
/content/yolov5/runs/train/exp3/weights/best.pt
```

2. พารามิเตอร์ของโมเดล (เหมือนกันทุกรอบ):

```
{  
  "cfg": {  
    "desc": null,  
    "value": ""  
  },  
  "hyp": {  
    "desc": null,  
    "value": {  
      "box": 0.05,  
      "cls": 0.5,  
      "lr0": 0.01,  
      "lrf": 0.01,
```

```

    "obj": 1,
    "hsv_h": 0.015,
    "hsv_s": 0.7,
    "hsv_v": 0.4,
    "iou_t": 0.2,
    "mixup": 0,
    "scale": 0.5,
    "shear": 0,
    "cls_pw": 1,
    "fliplr": 0.5,
    "flipud": 0,
    "mosaic": 1,
    "obj_pw": 1,
    "degrees": 0,
    "anchor_t": 4,
    "fl_gamma": 0,
    "momentum": 0.937,
    "translate": 0.1,
    "copy_paste": 0,
    "perspective": 0,
    "weight_decay": 0.0005,
    "warmup_epochs": 3,
    "warmup_bias_lr": 0.1,
    "warmup_momentum": 0.8
  }
},
"data": {
  "desc": null,
  "value": "/content/yolov5/data/shaftt03.yaml"
},
"name": {
  "desc": null,
  "value": "exp"
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

},
"quad": {
  "desc": null,
  "value": false
},
"rect": {
  "desc": null,
  "value": false
},
"cache": {
  "desc": null,
  "value": null
},
"imgsz": {
  "desc": null,
  "value": 416
},
"noval": {
  "desc": null,
  "value": false
},
"_wandb": {
  "desc": null,
  "value": {
    "t": {
      "1": [
        1,
        2,
        3,
        12,
        41,
        55
      ],

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

"2": [
  1,
  2,
  3,
  12,
  41,
  54,
  55
],
"3": [
  2,
  16
],
"4": "3.7.13",
"5": "0.12.15",
"8": [
  5
]
},
"framework": "torch",
"start_time": 1651496734,
"cli_version": "0.12.15",
"is_jupyter_run": false,
"python_version": "3.7.13",
"is_kaggle_kernel": false,
"bounding_box/class_labels": {
  "BoundingBoxDebugger_wandb_delimeter_predictions": {
    "key": "BoundingBoxDebugger_wandb_delimeter_predictions",
    "type": "bounding_box/class_labels",
    "value": {
      "0": "Risk"
    }
  }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }
  },
  "bucket": {
    "desc": null,
    "value": ""
  },
  "cos_lr": {
    "desc": null,
    "value": false
  },
  "device": {
    "desc": null,
    "value": ""
  },
  "entity": {
    "desc": null,
    "value": null
  },
  "epochs": {
    "desc": null,
    "value": 100
  },
  "evolve": {
    "desc": null,
    "value": null
  },
  "freeze": {
    "desc": null,
    "value": [
      0
    ]
  },

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

"nosave": {
  "desc": null,
  "value": false
},
"resume": {
  "desc": null,
  "value": false
},
"noplots": {
  "desc": null,
  "value": false
},
"project": {
  "desc": null,
  "value": "runs/train"
},
"sync_bn": {
  "desc": null,
  "value": false
},
"weights": {
  "desc": null,
  "value": "/content/yolov5/runs/train/exp2/weights/best.pt"
},
"workers": {
  "desc": null,
  "value": 8
},
"exist_ok": {
  "desc": null,
  "value": false
},
"patience": {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    "desc": null,
    "value": 100
  },
  "save_dir": {
    "desc": null,
    "value": "runs/train/exp3"
  },
  "data_dict": {
    "desc": null,
    "value": {
      "nc": 1,
      "val": "/content/gdrive/MyDrive/My Thesis project/torsion train/val",
      "test": "/content/gdrive/MyDrive/My Thesis project/torsion train/test",
      "names": [
        "Risk"
      ],
      "train": "/content/gdrive/MyDrive/My Thesis project/torsion train/train03"
    }
  },
  "optimizer": {
    "desc": null,
    "value": "SGD"
  },
  "batch_size": {
    "desc": null,
    "value": 32
  },
  "local_rank": {
    "desc": null,
    "value": -1
  },
  "single_cls": {
    "desc": null,

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    "value": false
  },
  "multi_scale": {
    "desc": null,
    "value": false
  },
  "save_period": {
    "desc": null,
    "value": -1
  },
  "noautoanchor": {
    "desc": null,
    "value": false
  },
  "bbox_interval": {
    "desc": null,
    "value": -1
  },
  "image_weights": {
    "desc": null,
    "value": false
  },
  "artifact_alias": {
    "desc": null,
    "value": "latest"
  },
  "upload_dataset": {
    "desc": null,
    "value": false
  },
  "label_smoothing": {
    "desc": null,
    "value": 0
  }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

}
}



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

โค้ดคำสั่งในการฝึกฝนข้อมูลและค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของโมเดลที่ 3

1. โค้ดคำสั่ง:

```
train.py --img 640 --batch 32 --epochs 300 --data shaftten.yaml --weights yolov5s.pt
```

2. พารามิเตอร์ของโมเดล:

```
{
  "cfg": {
    "desc": null,
    "value": ""
  },
  "hyp": {
    "desc": null,
    "value": {
      "box": 0.05,
      "cls": 0.5,
      "lr0": 0.01,
      "lrf": 0.01,
      "obj": 1,
      "hsv_h": 0.015,
      "hsv_s": 0.7,
      "hsv_v": 0.4,
      "iou_t": 0.2,
      "mixup": 0,
      "scale": 0.5,
      "shear": 0,
      "cls_pw": 1,
      "fliplr": 0.5,
      "flipud": 0,
      "mosaic": 1,
      "obj_pw": 1,

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    "degrees": 0,
    "anchor_t": 4,
    "fl_gamma": 0,
    "momentum": 0.937,
    "translate": 0.1,
    "copy_paste": 0,
    "perspective": 0,
    "weight_decay": 0.0005,
    "warmup_epochs": 3,
    "warmup_bias_lr": 0.1,
    "warmup_momentum": 0.8
  }
},
"data": {
  "desc": null,
  "value": "/content/yolov5/data/shaftten.yaml"
},
"name": {
  "desc": null,
  "value": "exp"
},
"quad": {
  "desc": null,
  "value": false
},
"rect": {
  "desc": null,
  "value": false
},
"cache": {
  "desc": null,
  "value": null
},

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

"imgsz": {
  "desc": null,
  "value": 640
},
"noval": {
  "desc": null,
  "value": false
},
"_wandb": {
  "desc": null,
  "value": {
    "t": {
      "1": [
        1,
        2,
        3,
        12,
        41,
        55
      ],
      "2": [
        1,
        2,
        3,
        12,
        41,
        54,
        55
      ],
      "3": [
        2,
        16
      ],
    }
  }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    "4": "3.7.13",
    "5": "0.12.16",
    "8": [
        5
    ]
},
"framework": "torch",
"start_time": 1651674222,
"cli_version": "0.12.16",
"is_jupyter_run": false,
"python_version": "3.7.13",
"is_kaggle_kernel": false,
"bounding_box/class_labels": {
    "BoundingBoxDebugger_wandb_delimeter_predictions": {
        "key": "BoundingBoxDebugger_wandb_delimeter_predictions",
        "type": "bounding_box/class_labels",
        "value": {
            "0": "Risk"
        }
    }
}
},
"bucket": {
    "desc": null,
    "value": ""
},
"cos_lr": {
    "desc": null,
    "value": false
},
"device": {
    "desc": null,

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    "value": ""
  },
  "entity": {
    "desc": null,
    "value": null
  },
  "epochs": {
    "desc": null,
    "value": 116
  },
  "evolve": {
    "desc": null,
    "value": null
  },
  "freeze": {
    "desc": null,
    "value": [
      0
    ]
  },
  "nosave": {
    "desc": null,
    "value": false
  },
  "resume": {
    "desc": null,
    "value": false
  },
  "noplots": {
    "desc": null,
    "value": false
  },
  "project": {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    "desc": null,
    "value": "runs/train"
  },
  "sync_bn": {
    "desc": null,
    "value": false
  },
  "weights": {
    "desc": null,
    "value": "/content/yolov5/runs/train/exp/weights/last.pt"
  },
  "workers": {
    "desc": null,
    "value": 8
  },
  "exist_ok": {
    "desc": null,
    "value": false
  },
  "patience": {
    "desc": null,
    "value": 100
  },
  "save_dir": {
    "desc": null,
    "value": "runs/train/exp3"
  },
  "data_dict": {
    "desc": null,
    "value": {
      "nc": 1,
      "val": "/content/gdrive/MyDrive/My Thesis project/torsion enhance/val",
      "test": "/content/gdrive/MyDrive/My Thesis project/torsion train/test",

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    "names": [
        "Risk"
    ],
    "train": "/content/gdrive/MyDrive/My Thesis project/torsion enhance/train"
}
},
"optimizer": {
    "desc": null,
    "value": "SGD"
},
"batch_size": {
    "desc": null,
    "value": 32
},
"local_rank": {
    "desc": null,
    "value": -1
},
"single_cls": {
    "desc": null,
    "value": false
},
"multi_scale": {
    "desc": null,
    "value": false
},
"save_period": {
    "desc": null,
    "value": -1
},
"noautoanchor": {
    "desc": null,
    "value": false
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

},
"bbox_interval": {
  "desc": null,
  "value": -1
},
"image_weights": {
  "desc": null,
  "value": false
},
"artifact_alias": {
  "desc": null,
  "value": "latest"
},
"upload_dataset": {
  "desc": null,
  "value": false
},
"label_smoothing": {
  "desc": null,
  "value": 0
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ข้อมูลรูปของเพลลาที่ใช้ในการฝึกฝนโมเดล, ไฟล์ Annotation, และผลจากการทำนาย ของโมเดล
ที่ 1. URL: <https://drive.google.com/drive/folders/1lwQVWw3gmAQinsUIMnzR-yaFITpDM6R1?usp=sharing>
- [2] ข้อมูลรูปของเพลลาที่ใช้ในการฝึกฝนโมเดล, ไฟล์ Annotation, และผลจากการทำนาย ของโมเดล
ที่ 2. URL: <https://drive.google.com/drive/folders/1DRoBYQ0bl0HAZxH5NsvpQLjgF8qQZRSW?usp=sharing>
- [3] ข้อมูลรูปของเพลลาที่ใช้ในการฝึกฝนโมเดล, ไฟล์ Annotation, และผลจากการทำนาย ของโมเดล
ที่ 3. URL: https://drive.google.com/drive/folders/1UG0FVv5e_jr5jglnlT_nNyyPnMOfWM5m?usp=sharing
- [4] Surapong Kanoktipsatharporn 2019. ทดสอบ Metrics ของ Neural Network ด้วยข้อมูล
จาก Validation Set ระหว่างการเทรน Machine Learning – Neural Network ep.8,
URL: <https://www.bualabs.com/archives/2075/validation-metrics-neural-network-validation-set-train-machine-learning-neural-network-ep-8/>, เข้าชมเมื่อ 20/3/2565.
- [5] Ponlawat Pripaisankij 2016. ผลลัพธ์ที่ได้จาก Simulation มีอะไรบ้าง, URL: <https://thai-solidworks-simulation.blogspot.com/search/?q=%E0%B8%9C%E0%B8%A5%E0%B8%A5%E0%B8%B1%E0%B8%9E%E0%B8%98%E0%B9%8C%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88%E0%B9%84%E0%B8%94%E0%B9%89%E0%B8%88%E0%B8%B2%E0%B8%81+Simulation+%E0%B8%A1%E0%B8%B5%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3%E0%B8%9A%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%87>, เข้าชมเมื่อ 7/1/2565.
- [6] PTT Express Solutions (PTT Expresso) 2019. สร้าง AI ให้รู้สึก รู้จริง! ทำความรู้จักว่า Deep Learning คืออะไร, URL: <https://blog.pttexpresso.com/get-to-know-deep-learning/>, เข้าชมเมื่อ 27/5/2565.
- [7] Porntiva Visitsora. Metrics พื้นฐานสำหรับวัดประสิทธิภาพของโมเดล Machine Learning, URL: <https://medium.com/@615162020027/metrics-%E0%B8%9E%E0%B8%B7%E0%B9%89%E0%B8%99%E0%B8%90%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%AA%E0%B8%B3%E0%B8%AB%E0%B8%A3%E0%B8%B1%E0%B8%9A%E0%B8%A7%E0%B8%B1%E0%B8%94%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%AA%E0%B8%B4%E0%B8%97%E0%B8%98%E0%B8%B4%E0%B8%A0%E0%B8%B2%E0%B8%9E%E0%B8%82%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B9%82%E0%B8%A1%E0%B9%80%E0%B8%94%E0%B>

8%A5-machine-learning-c00fcc32fa30, เข้าชมเมื่อ 27/4/2565.

- [8] Surapong Kanoktipsatharporn 2019. **Training Set คืออะไร ทำไมเราต้องแยกชุดข้อมูล Train / Test Split เป็น Training Set, Validation Set และ Test Set ใน Machine Learning**, URL: <https://www.bualabs.com/archives/532/what-is-training-set-why-train-test-split-training-set-validation-set-test-set/>, เข้าชมเมื่อ 20/3/2565.
- [9] Surapong Kanoktipsatharporn 2019. **Learning Rate คืออะไร ปรับยังไงให้พอดี Epoch คืออะไร สำคัญอย่างไร กับการเทรน Machine Learning – Hyperparameter Tuning ep.1**, URL: <https://www.bualabs.com/archives/618/learning-rate-deep-learning-how-to-hyperparameter-tuning-ep-1/>, เข้าชมเมื่อ 20/3/2565.
- [10] Natthawat Phongchit 2018. **Convolutional Neural Network (CNN) คืออะไร**, URL: <https://medium.com/@natthawatphongchit/%E0%B8%A1%E0%B8%B2%E0%B8%A5%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%94%E0%B8%B9%E0%B8%A7%E0%B8%B4%E0%B8%98%E0%B8%B5%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%84%E0%B8%B4%E0%B8%94%E0%B8%82%E0%B8%AD%E0%B8%87-cnn-%E0%B8%81%E0%B8%B1%E0%B8%99-e3f5d73eebaa>, เข้าชมเมื่อ 16/11/2564.
- [11] Alibaba 1999, URL: https://www.alibaba.com/product-detail/ASTM-1045-carbon-steel-forging-stepped_1769051022.html, เข้าชมเมื่อ 31/5/65.
- [12] Arden Dertat 2017. **Applied Deep Learning - Part 4: Convolutional Neural Networks**, URL: <https://towardsdatascience.com/applied-deep-learning-part-4-convolutional-neural-networks-584bc134c1e2>, เข้าชมเมื่อ 17/11/2564.
- [13] Addar Hat. (2018, June 1). **How to make a solide M6 nut use by space claim** [Video file]. จาก: <https://www.youtube.com/watch?v=TjOxbnb-Gk>
- [14] adhikari 2020. **The Difference Between (AI) Artificial Intelligence & (ML) Machine Language**, URL: <https://bestinterviewprep.com/the-difference-between-ai-artificial-intelligence-ml-machine-language/>, เข้าชมเมื่อ 17/11/2564.
- [15] AlexeyAB 2020. **What is the latest version of YOLO? Is V5 a scam?**, URL: <https://github.com/pjreddie/darknet/issues/2198>, เข้าชมเมื่อ 29/4/2565.
- [16] Ansys Learning. (2020, July 29). **Equivalent Stress - Lesson 4** [Video file]. จาก: <https://www.youtube.com/watch?v=Ht6xrpDGvr0>
- [17] deeplizard. (2017, Dec 10). **Convolutional Neural Networks (CNNs) explained** [Video file]. จาก: https://www.youtube.com/watch?v=YRhxdVk_sls
- [18] DesiGn HuB. (2016, Jul 15). **Stress concentraion Analysis on Ansys & Solidwork** [Video file]. จาก: <https://www.youtube.com/watch?v=5ZIDBZadSwA>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [19] DrDalyO. (2015, Feb 15). **ANSYS Workbench Tutorial - Introduction to Static Structural** [Video file]. จาก: <https://www.youtube.com/watch?v=vnpg5zzOS48>
- [20] Engineering Learn 2020. **Shafts: Definition, Types, Application, Materials, Size, Used, Design, Advantages & Disadvantages**, URL: <https://engineeringlearn.com/shafts-definition-types-application-materials-size-used-design-advantages-disadvantages/>, เข้าชมเมื่อ 27/11/2564.
- [21] Engineering Library 2019-2022. **Transmission Shafting Analysis**, URL: <https://engineeringlibrary.org/reference/shaft-analysis-air-force-stress-manual>, เข้าชมเมื่อ 7/3/2565.
- [22] Focus Technology Co., Ltd. 1998, URL: <https://www.made-in-china.com/help/terms/>, เข้าชมเมื่อ 31/5/65.
- [23] FRISA 2022, URL: <https://www.frisa.com/en/products/shafts>, เข้าชมเมื่อ 31/5/65.
- [24] Grasp Engineering. (2020, May 26). **ANSYS Spaceclaim Tutorials for Beginners – Ellipsoid head with Eccentric Nozzle & Repad** [Video file]. จาก: https://www.youtube.com/watch?v=l3MNPSu_2ew
- [25] Glenn Jocher 2022. **Train Custom Data**, URL: <https://github.com/ultralytics/yolov5/wiki/Train-Custom-Data>, เข้าชมเมื่อ 12/4/2565.
- [26] Glenn Jocher. **YOLOv5 in PyTorch > ONNX > CoreML > TFLite**, URL: <https://github.com/ultralytics/yolov5>, เข้าชมเมื่อ 12/4/2565.
- [27] iDESIGN. (2020, April 5). **Stress Concentration Analysis | SolidWorks Tutorial** [Video file]. จาก: <https://www.youtube.com/watch?v=Yf72lEbHYIk>
- [28] **Introduction**, URL: <https://docs.ultralytics.com/>, เข้าชมเมื่อ 25/4/2565.
- [29] Jason Brownlee 2021. **How to Update Neural Network Models With More Data**, URL: <https://machinelearningmastery.com/update-neural-network-models-with-more-data/>, เข้าชมเมื่อ 21/3/2565.
- [30] Jason Brownlee 2020. **Understand the Impact of Learning Rate on Neural Network Performance**, URL: <https://machinelearningmastery.com/understand-the-dynamics-of-learning-rate-on-deep-learning-neural-networks/>, เข้าชมเมื่อ 21/3/2565.
- [31] Joseph Nelson, Jacob Solawetz 2020. **Responding to the Controversy about YOLOv5**, URL: <https://blog.roboflow.com/yolov4-versus-yolov5/>, เข้าชมเมื่อ 29/4/2565.
- [32] Joseph Redmon 2015. **Tips for Best Training Results**, URL: <https://docs.ultralytics.com>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- com/tutorials/training-tips-best-results/#training-settings, เข้าชมเมื่อ 18/4/2565.
- [33] Justdail 2022, URL: <https://www.justdial.com/jdmart/Hyderabad/Forged-Step-Shaft/jdm-1557387-ent-11-3206505>, เข้าชมเมื่อ 31/5/65.
- [34] Natratanon Kanraweekultana 2019. **Confusion Matrix**, URL: <https://medium.com/@natratanonkanraweekultana/confusion-matrix-d6146b275faa>, เข้าชมเมื่อ 19/4/2565.
- [35] Pankaj Misha. **What is Stress Concentration – Definition, Causes, effects and Prevention?**, URL: <https://www.mechanicalbooster.com/2017/04/what-is-stress-concentration.html>, เข้าชมเมื่อ 18/12/2564.
- [36] Pragati Baheti 2022. **The Train, Validation, and Test Sets: How to Split Your Machine Learning Data**, URL: <https://www.v7labs.com/blog/train-validation-test-set>, เข้าชมเมื่อ 18/4/2565.
- [37] Richard G. Budynas, J. Keith Nisbett. 2015. **Shigley's Mechanical Engineering Design, Tenth Edition**, McGraw-Hill, New York.
- [38] Roboflow, Inc. 2022, URL: <https://roboflow.com/>, เข้าชมเมื่อ 27/5/2565.
- [39] RS Components Co., Ltd., URL: <https://th.rs-online.com/web/p/motor-accessories/5105368>, เข้าชมเมื่อ 31/5/65.
- [40] Russell C. Hibbeler. 2018. **Mechanics of Materials Tenth edition in SI Units**, Pearson, Malaysia.
- [41] SAGAR SHARMA 2017. **Epoch vs Batch Size vs Iterations**, URL: <https://towardsdatascience.com/epoch-vs-iterations-vs-batch-size-4dfb9c7ce9c9>, เข้าชมเมื่อ 27/3/2565.
- [42] Shakti Engineers 2017, URL: <https://www.indiamart.com/shakti-engineers-vadodara/motor-shaft.html>, เข้าชมเมื่อ 31/5/65.
- [43] Surya Gutta 2021. **Object Detection Algorithm – YOLO v5 Architecture**, URL: <https://medium.com/analytics-vidhya/object-detection-algorithm-yolo-v5-architecture-89e0a35472ef>, เข้าชมเมื่อ 29/4/2565.
- [44] Tarnum Java SRL 2020. **What is Learning Curve in Machine Learning?**, Bucharest, Romania, URL: <https://www.baeldung.com/cs/learning-curve-mlv>, เข้าชมเมื่อ 2/11/2564.
- [45] The Efficient Engineer. (2020, June 2). **Understanding Failure Theories (Tresca, von Mises etc...)** [Video file]. จาก: <https://www.youtube.com/watch?v=xkbOnBOFEg>
- [46] The Efficient Engineer. (2020, Mar 3). **Understanding Torsion** [Video file]. จาก: <https://www.youtube.com/watch?v=1YTKedLQOa0>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [47] Uri Almog 2020. **YOLOV3 Explained**, URL: <https://towardsdatascience.com/yolo-v3-explained-ff5b850390f>, เข้าชมเมื่อ 4/5/2565.
- [48] Walter D. Pilkey. 2004. **FORMULAS FOR STRESS, STRAIN, AND STRUCTURAL MATRICES SECOND EDITION**, John Wiley & Sons, New Jersey.
- [49] Walter D. Pilkey, Deborah F. Pilkey, Zhuming Bi. 2020. **Peterson's Stress Concentration Factors Fourth edition**, John Wiley & Sons, New York.
- [50] Wikipedia The Free Encyclopedia. **Ansys**, URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Ansys>, เข้าชมเมื่อ 17/11/2564.
- [51] 實三 鈴木 2016. **rotary engine eccentric shaft**, URL: <https://gallery.autodesk.com/fusion360/projects/30247/rotary-engine-eccentric-shaft>, เข้าชมเมื่อ 18/3/2565.

