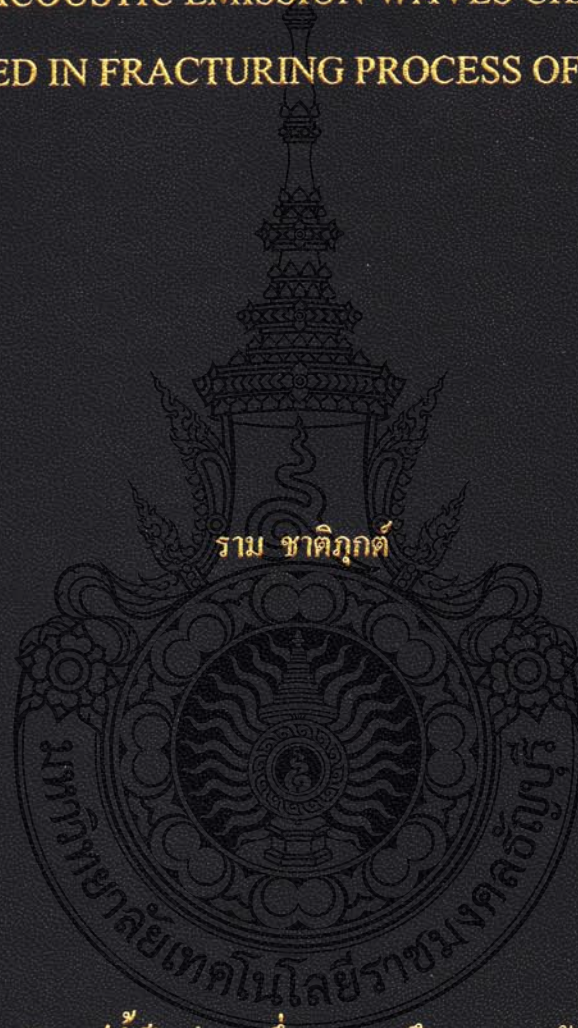


การศึกษารูปแบบสัญญาณอะคูสติกส์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการแตกหักของวัสดุ

A STUDY OF ACOUSTIC EMISSION WAVES CHARACTERISTICS
GENERATED IN FRACTURING PROCESS OF MATERIALS



ราม ชาติภักดิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การศึกษารูปแบบสัญญาณอะคูสติกส์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการแตกหักของวัสดุ

ราม ชาติภูกต์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยที่เกิดจากการค้นคว้าและวิจัยขณะที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ในคณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้ถือเป็นลิขสิทธิ์ของ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีและข้อความต่างๆในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าขอรับรองว่า
ไม่มีการคัดลอกหรือนำงานวิจัยของผู้อื่นมานำเสนอในชื่อของข้าพเจ้า

นาย ราม ชาติภักต์



COPYRIGHT © 2018

FACULTY OF ENGINEERING

RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI

ลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2561

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษารูปแบบสัญญาณอะคูสติกส์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการแตกหัก
ของวัสดุ
A Study of Acoustic Emission Waves Characteristics Generated in
Fracturing Process of Materials

ชื่อ-นามสกุล นายราม ชาติภักต์
สาขาวิชา วิศวกรรมการผลิต
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิวกกร อ่างทอง, Ph.D.
ปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จรัสพงษ์ ลิ้ม, Ph.D.)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริชัย ต่อสกุล, Dr.-Ing.)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิวกกร อ่างทอง, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิวกกร อ่างทอง, Ph.D.)

วันที่ 22 เดือน พฤษภาคม พ.ศ.2562

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษารูปแบบสัญญาณอะคูสติกส์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการแตกหักของวัสดุ
ชื่อ-นามสกุล นายราม ชาติภักดิ์
สาขาวิชา วิศวกรรมการผลิต
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.
ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

การตรวจสอบความเสียหายของวัสดุด้วยการวัดสัญญาณอะคูสติกส์อีมิชชัน (Acoustic Emission, AE) เป็นวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing) ที่สามารถใช้ในการเฝ้าระวังความเสียหายของวัสดุขณะใช้งาน (Online Monitoring) โดยการตรวจจับพลังงานในรูปของคลื่นยืดหยุ่นแบบชั่วคราว (Transient Elastic Wave) ที่ปลดปล่อยสัญญาณจากรอยร้าวของวัสดุ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาวิธีการตรวจสอบความเสียหายของวัสดุด้วยการวัดสัญญาณอะคูสติกส์อีมิชชัน และศึกษารูปแบบสัญญาณอะคูสติกส์อีมิชชันในกระบวนการแตกร้าวของวัสดุ 4 ชนิด

ในการศึกษาวิจัยนี้ใช้เครื่องมือวัดสัญญาณอะคูสติกส์อีมิชชันประกอบด้วยหัวตรวจสอบ (Sensor) อุปกรณ์ขยายสัญญาณ (Pre Amplifier) และอุปกรณ์ประมวลผล (Acoustic Emission Analyzer) ทำการวัดสัญญาณอะคูสติกส์อีมิชชันที่เกิดขึ้นขณะขึ้นงานทดสอบอยู่ภายใต้แรงดึงที่เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ (5 มิลลิเมตร/นาที) ทำให้โครงสร้างจุลภาคภายในเกิดเป็นรอยแตกร้าวเพิ่มขึ้นจนกระทั่งชิ้นงานฉีกขาดออกจากกัน ซึ่งสัญญาณอะคูสติกส์ที่เกิดขึ้นจะถูกบันทึกค่าสัญญาณ ตั้งแต่เริ่มต้นทดสอบ ไปจนถึงงานฉีกขาดออกจากกัน โดยใช้โปรแกรมแลปวิว (Labview) ประมวลผล และแสดงค่าแอมพลิจูด ของสัญญาณอะคูสติกส์ เพื่อวิเคราะห์ผลการทดสอบ ซึ่งในการทดสอบจะกระทำกับวัสดุต่างกัน 4 ชนิดคือ วัสดุเหล็กกล้า (S45C), วัสดุเหล็กกล้า (SCM440), อะลูมิเนียม (5083-H112), และพลาสติก (High density polyethylene, HDPE)

จากการทดสอบพบว่าลักษณะสัญญาณอะคูสติกส์ขณะขึ้นงานอยู่ภายใต้แรงดึงมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนรูปร่าง (Deformation) และชนิดวัสดุที่ใช้ทดลอง เช่น วัสดุเหล็กกล้า S45C มีค่าเฉลี่ยแอมพลิจูดที่ 842 mV. วัสดุเหล็กกล้า SCM440 มีค่าเฉลี่ยแอมพลิจูดที่ 354 mV. และอะลูมิเนียม 5083-H112 มีค่าเฉลี่ยแอมพลิจูดที่ 290 mV. ก่อนถึงจุดยิวล์ (yield point) ขนาดแอมพลิจูดมีการเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเริ่มให้แรงกระทำต่อวัสดุ แต่ในขณะที่วัสดุพลาสติก High density polyethylene (HDPE) จะไม่พบว่ามีระดับความเปลี่ยนแปลงขนาดแอมพลิจูดเหนือเทรชโซลด์อย่างชัดเจนเมื่อเริ่มให้แรงกระทำต่อวัสดุ

คำสำคัญ : อะคูสติกส์อีมิชชัน แตกร้าว สัญญาณ แรงดึง แอมพลิจูด เทรชโซลด์

Thesis Title	A Study of Acoustic Emission Waves Characteristics Generated in Fracturing Process of Materials
Name – Surname	Mr. Ram Chatpuk
Program	Manufacturing Engineering
Thesis Advisor	Assistant Professor Sivakorn Anghong, Ph.D.
Academic Years	2018

ABSTRACT

Acoustic Emission testing for material failure is considered as a non-destructive testing method used for online material monitoring. It is the transient elastic wave in a material caused by the rapid release of localized stress energy. This research aimed to develop Acoustic Emission testing process and study the characteristic of its signals during crack propagation of 4 different materials.

This Acoustic Emission system included a sensor, pre-amplifier, and Acoustic Emission analyzer to monitor the work piece under tension force (moving speed of 5 mm./min). The Acoustic Emission signal was recorded continuously from the beginning process through the complete fractured phase of the work piece. This Acoustic Emission signal was also analyzed by using Labview Program in order to identify the Acoustic Emission parameters such as Amplitude. Steel S45C, Steel SCM440, Aluminum 5083-H112, and High-density Polyethylene (HDPE) were compared for the testing.

The results showed that the Acoustic Emission signal of the work piece under tension force related with its deformation. S45C Steel had the average amplitude values at 842 mV while SCM440 steel had its average amplitude values at 460 mV. Aluminum 5083-H112 had its average amplitude at 290 mV. Before yield point, the amplitude increased clearly when there was an act on the material. However, for the High-density Polyethylene (HDPE), there was no clear change of amplitude over threshold with an act on the material.

Keywords : acoustic emission, fractured, signal, tension force, amplitude, threshold

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความเมตตากรุณา และความอนุเคราะห์ของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวกร อ่างทอง อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้ทำการศึกษาวิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ ประธานกรรมการสอบและกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ต่อสกุล ที่ได้ให้ความกรุณา คำแนะนำในการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆของงานวิจัย และขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิรพงศ์ ลิ้ม ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษา ตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ่องอาจ แสคดีใหม่ และอาจารย์ภูเบศ แสงมะสะหมัด ที่ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในการทำวิจัยตลอดจนเพื่อนร่วมงานทุกท่านที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในการแก้ไขปัญหาและอุปสรรคต่างๆ งานวิจัยประสบความสำเร็จเป็นอย่างดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ราม ชาติภักดิ์

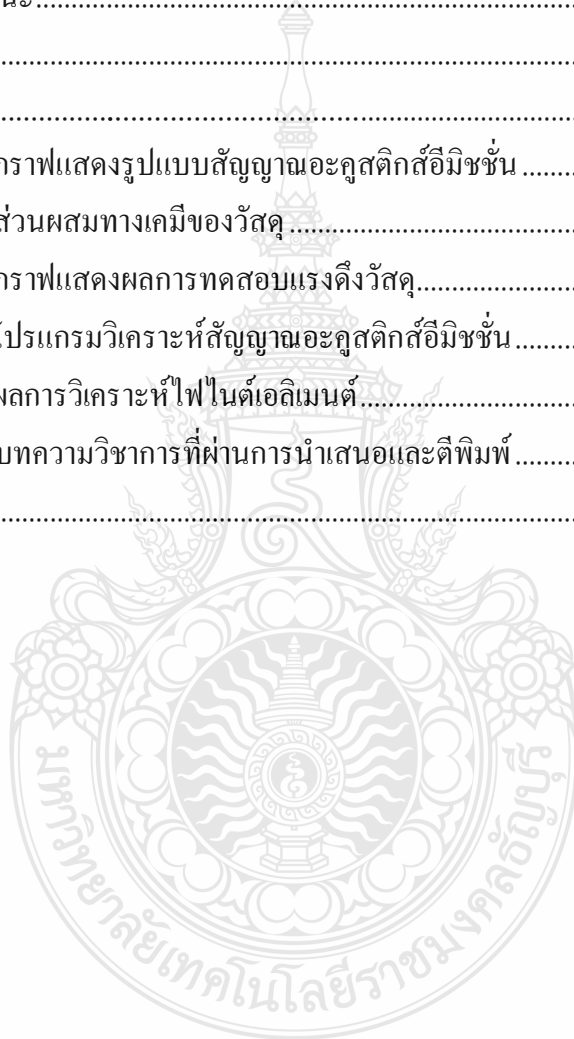


สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(9)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	(12)
บทที่ 1 บทนำ.....	13
1.1 ความเป็นมาของการวิจัย.....	13
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	15
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	15
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	15
บทที่ 2 หลักการแนวคิดและทฤษฎี.....	16
2.1 หลักการแนวคิด.....	16
2.2 การเปลี่ยนรูปของ โลหะและคุณสมบัติที่เกี่ยวข้อง.....	27
2.3 ความต้านทานการแตกหักและเกณฑ์การแตกหัก.....	37
2.4 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบแรงดึง.....	46
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	51
3.1 เตรียมชิ้นงานทดสอบ.....	51
3.2 การสร้างพารามิเตอร์และคาลิเบรชันหัวเซนเซอร์.....	57
3.3 การทดลองดึงชิ้นงานตรวจวัดคลื่นสัญญาณอะคูสติกส์.....	59
3.4 อุปกรณ์-เครื่องมือในการทดลอง.....	61
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล.....	62
4.1 ผลการทดลอง.....	62
4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	71

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิเคราะห์และข้อเสนอแนะ	78
5.1 สรุปผลการวิเคราะห์.....	78
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	79
บรรณานุกรม	80
ภาคผนวก.....	82
ภาคผนวก ก กราฟแสดงรูปแบบสัญญาณอะคูสติกส์อิมพัลส์.....	82
ภาคผนวก ข ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุ.....	87
ภาคผนวก ค กราฟแสดงผลการทดสอบแรงดึงวัสดุ.....	94
ภาคผนวก ง โปรแกรมวิเคราะห์สัญญาณอะคูสติกส์อิมพัลส์.....	97
ภาคผนวก จ ผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์.....	100
ภาคผนวก ฉ บทความวิชาการที่ผ่านการนำเสนอและตีพิมพ์.....	109
ประวัติผู้เขียน.....	122



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่าคงตัวในสมการ	41
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติยืดหยุ่นและอุณหภูมิหลอมละลาย (T_m) ของวัสดุ.....	50
ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขการทดลอง.....	59
ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบตรวจวัดค่าสัญญาณแอมพลิจูดการแตกร้าวในวัสดุ.....	79
ตารางที่ ก.1 รูปแบบสัญญาณอะคูสติกส์อิมพัลส์วัสดุเหล็กกล้า S45C	83
ตารางที่ ก.2 รูปแบบสัญญาณอะคูสติกส์อิมพัลส์วัสดุเหล็กกล้า SCM440.....	84
ตารางที่ ก.3 รูปแบบสัญญาณอะคูสติกส์อิมพัลส์วัสดุอะลูมิเนียม 5083-H112	85
ตารางที่ ก.4 รูปแบบสัญญาณอะคูสติกส์อิมพัลส์วัสดุพลาสติก High Density Polyethylene.....	86
ตารางที่ ข.1 การทดสอบคุณสมบัติส่วนผสมธาตุวัสดุ.....	88
ตารางที่ ข.2 การทดสอบคุณสมบัติส่วนผสมธาตุวัสดุ.....	89
ตารางที่ ข.3 การทดสอบคุณสมบัติส่วนผสมธาตุวัสดุเหล็กกล้า S45C.....	90
ตารางที่ ข.4 การทดสอบคุณสมบัติส่วนผสมธาตุวัสดุเหล็กกล้า SCM440	91
ตารางที่ ข.5 การทดสอบคุณสมบัติส่วนผสมธาตุวัสดุอะลูมิเนียม 5083-H112.....	92
ตารางที่ ข.6 การทดสอบคุณสมบัติส่วนผสมธาตุวัสดุพลาสติก High Density Polyethylene	93
ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบแรงดึงเหล็กกล้า S45C	95
ตารางที่ ค.2 ผลการทดสอบแรงดึงเหล็กกล้า SCM440.....	95
ตารางที่ ค.3 ผลการทดสอบแรงดึงอะลูมิเนียม 5083-H112	96
ตารางที่ ค.4 ผลการทดสอบแรงดึงพลาสติก High Density Polyethylene.....	96
ตารางที่ จ.1 ผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์เหล็กกล้า S45C	101
ตารางที่ จ.2 ผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์เหล็กกล้า SCM440	103
ตารางที่ จ.3 ผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์อะลูมิเนียม 5083-H112.....	105
ตารางที่ จ.4 ผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์พลาสติก High density Polyethylene	107

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 การเสื่อมสภาพของดังกักเก็บน้ำมัน	13
รูปที่ 1.2 อุปกรณ์การทดสอบดึงชิ้นงานสร้างกราฟสัญญาณอะคูสติกส์อิมิชัน	14
รูปที่ 2.1 รูปแบบการเสียหายที่ใช้การตรวจสอบแบบอะคูสติกส์อิมิชัน	16
รูปที่ 2.2 การทดลองวัดค่าแรงดึงที่มีเพียโซไมโครโฟนยึดแน่นกับชิ้นงานบน.....	17
รูปที่ 2.3 การปลดปล่อยสัญญาณอะคูสติกส์จากการเสียรูป.....	18
รูปที่ 2.4 ระบบการทดสอบแรงดึงด้วยเครื่องมือวัดการปล่อยคลื่นเสียง	19
รูปที่ 2.5 คุณสมบัติของสัญญาณชั่วคราว.....	20
รูปที่ 2.6 การตรวจสอบหาแหล่งสัญญาณเสียงที่เปล่งจากรอยแตกร้าว	21
รูปที่ 2.7 ระบบตรวจวัดคลื่นสัญญาณ.....	22
รูปที่ 2.8 ส่วนประกอบภายในหัวเซนเซอร์ AE Sensor.....	23
รูปที่ 2.9 เส้นโค้งการสอบเทียบเซนเซอร์โดยทั่วไป	24
รูปที่ 2.10 เกณฑ์การตรวจจับสัญญาณ โดยเปรียบเทียบ	25
รูปที่ 2.11 รูปแบบการเกิดสัญญาณประเภทต่างๆจากการตรวจจับ.....	27
รูปที่ 2.12 ตัวอย่างเหตุการณ์เกิดอะคูสติกส์อิมิชันตามแนวท่อ	27
รูปที่ 2.13 ขอบเขตการเสียรูปตามระนาบสองมิติ J เป็นค่าผลรวมทั้งหมดของ Γ	28
รูปที่ 2.14 การจัดเรียงของอะตอมจะเกิดขึ้นหากว่ามีการเคลื่อนที่ของระนาบขอบผิว	29
รูปที่ 2.15 จุดบกพร่อง.....	30
รูปที่ 2.16 รูปแบบการแตกร้าว.....	31
รูปที่ 2.17 ความเครียดใกล้บริเวณแตกร้าวในขณะเกิดความยืดหยุ่นของวัสดุ	32
รูปที่ 2.18 แผนภูมิต้นไม้ของกลศาสตร์การแตกหัก.....	33
รูปที่ 2.19 ผลของความเหนียวแตกหักต่อกลไกความล้มเหลวในการควบคุม.....	33
รูปที่ 2.20 รูปแบบที่มีความเข้มของความเค้นเหมือนกัน	34
รูปที่ 2.21 รูปแบบของสาเหตุการแตกหักภายในโลหะ.....	35
รูปที่ 2.22 รอยแตกยับปล้นทำให้เกิดลักษณะการยึดตัวของโครงสร้าง.....	36
รูปที่ 2.23 บริเวณเกิดความเครียดทำให้มีสีขาวที่ผิวก่อนมีรอยแตก.....	36
รูปที่ 2.24 พฤติกรรมการแตกหักของโครงสร้างที่มีรอยร้าว.....	38

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.25 ผลของอุณหภูมิต่อความต้านทานการแตกหักในโหมดที่ 1	39
รูปที่ 2.26 ผลของความหนาต่อความต้านทานการแตกหักในโหมดที่ 1	40
รูปที่ 2.27 เส้นโค้งความต้านทานการเติบโตของรอยร้าว	42
รูปที่ 2.28 ลักษณะของชิ้นงานทดสอบที่มีรูเจาะยึดรับแรงดึง	43
รูปที่ 2.29 ลักษณะของชิ้นงานทดสอบมาตรฐานแบบไม่มีรูเจาะยึด	43
รูปที่ 2.30 การวางตัวของชิ้นงานทดสอบเทียบกับวัตถุคิบน้ำตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า	44
รูปที่ 2.31 การจับยึดชิ้นงานทดสอบสำหรับการทดสอบในโหมดที่ 1	45
รูปที่ 2.32 วิธีจับยึดชิ้นงานทดสอบ โหมดผสมระหว่างโหมดที่ 1 และ โหมดที่ 2	45
รูปที่ 2.33 การสร้างรอยร้าวล้าเริ่มต้น	46
รูปที่ 2.34 เส้นโค้งความเค้น-ความเครียด ของวัสดุอัลลอยด์อลูมิเนียม	47
รูปที่ 2.35 กราฟช่วงความแข็งแรงจุดยึด ออฟเซต 0.2% ของวัสดุเหล็กหล่อสีเทา	47
รูปที่ 2.36 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุทดสอบแรงดึงจนเกิดเป็นคอคอด	48
รูปที่ 2.37 ค่าความแข็งแรงจุดครากของวัสดุวิศวกรรมชนิดต่างๆ	49
รูปที่ 2.38 การเปรียบเทียบพฤติกรรมยืดหยุ่นของเหล็กและอลูมิเนียม	50
รูปที่ 3.1 ขนาดชิ้นงานตัดขึ้นรูปด้วยเครื่องซีเอ็นซีมิลลิ่ง	51
รูปที่ 3.2 เครื่องมิลลิ่งสำหรับขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ	52
รูปที่ 3.3 ชิ้นส่วนจับยึดชิ้นงานทดสอบ	52
รูปที่ 3.4 ขนาดชิ้นงานทดสอบแรงดึง	53
รูปที่ 3.5 ขนาดชิ้นงานทดสอบแรงดึงสำหรับวัสดุพลาสติก HDPE	53
รูปที่ 3.6 ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	54
รูปที่ 3.7 ชิ้นงานทดสอบหาปริมาณส่วนผสมแร่ธาตุของวัสดุ	55
รูปที่ 3.8 เครื่องวิเคราะห์ธาตุและสารประกอบ Baird Spectrovac 1000	55
รูปที่ 3.9 เครื่องวิเคราะห์ธาตุและสารประกอบ Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)	55
รูปที่ 3.10 ขัดผิวชิ้นงานด้วยเครื่องขัดกระดาษทรายสายพาน	56
รูปที่ 3.11 ทดสอบความเรียบผิวด้วยเครื่องทดสอบความเรียบผิว	56
รูปที่ 3.12 แผนผังลำดับการตรวจวัดคลื่นสัญญาณอะคูสติกส์	57

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.13 เครื่อง NI PXIe-1073 ทำการคาลิเบรชันชิ้นงานหาระดับค่าสัญญาณแอมพลิจูด.....	57
รูปที่ 3.14 ฟอรัมพาเนลแสดงผลลัพธ์คลื่นสัญญาณอะคูสติกส์.....	58
รูปที่ 3.15 บล็อก ไดอะแกรมการวิเคราะห์คลื่นสัญญาณอะคูสติกส์.....	58
รูปที่ 3.16 การเตรียมชิ้นงานทดลองและอุปกรณ์การตรวจวัดสัญญาณอะคูสติกส์.....	59
รูปที่ 3.17 การทดสอบชิ้นงานพร้อมตรวจวัดคลื่นสัญญาณอะคูสติกส์อิมิชชัน.....	60
รูปที่ 3.18 ผลแสดงการตรวจวัดคลื่นสัญญาณอะคูสติกส์อิมิชชันบน โปรแกรม.....	60
รูปที่ 4.1 การทดสอบดึงชิ้นงานตรวจวัดคลื่นสัญญาณอะคูสติกส์อิมิชชัน.....	62
รูปที่ 4.2 กราฟค่าเฉลี่ยความเค้นแรงดึงเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสัญญาณแอมพลิจูด.....	63
รูปที่ 4.3 ผลกราฟการตรวจวัดคลื่นสัญญาณแอมพลิจูดของวัสดุเหล็กกล้า S45C.....	64
รูปที่ 4.4 กราฟค่าเฉลี่ยความเค้นแรงดึงเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสัญญาณแอมพลิจูด.....	65
รูปที่ 4.5 ผลกราฟการตรวจวัดคลื่นสัญญาณแอมพลิจูดของวัสดุเหล็กกล้า SCM440.....	66
รูปที่ 4.6 กราฟค่าเฉลี่ยความเค้นแรงดึงเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสัญญาณแอมพลิจูด.....	67
รูปที่ 4.7 ผลกราฟการตรวจวัดคลื่นสัญญาณแอมพลิจูดของวัสดุอะลูมิเนียม 5083-H112.....	68
รูปที่ 4.8 กราฟค่าเฉลี่ยความเค้นแรงดึงเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสัญญาณแอมพลิจูด.....	69
รูปที่ 4.9 ผลกราฟการตรวจวัดคลื่นสัญญาณพลาสติก High density polyethylene (HDPE).....	70
รูปที่ 4.10 กราฟค่าเฉลี่ยความเค้นแรงดึงเปรียบเทียบ.....	71
รูปที่ 4.11 กราฟค่าเฉลี่ยความเค้นแรงดึงเปรียบเทียบกับ.....	73
รูปที่ 4.12 กราฟค่าเฉลี่ยความเค้นแรงดึงเปรียบเทียบกับ.....	74
รูปที่ 4.13 กราฟค่าเฉลี่ยความเค้นแรงดึงเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยสัญญาณ.....	75
รูปที่ 4.14 ผลกราฟค่าเฉลี่ยแอมพลิจูดของวัสดุ.....	76
รูปที่ 4.15 พิวจากการรบกวนของวัสดุจากการทดลอง.....	77
รูปที่ 5.1 กราฟความสัมพันธ์ของสัญญาณอะคูสติกส์ที่มีผลตอบสนองจากแรงดึงเชิงกล.....	78

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A_0	Initial area
AE	Acoustic Emission
Ag	Silver
Al	Aluminium
Al_2O_3	Aluminium oxide
Au	Gold
ASTM	American Society for Testing and Material
BCC	Body-centered cubic
Cr	Chromium
Cu	Copper
dB	decibel
E	Young's modulus
e	Strain
Fe	Steel
FCC	Face-centered cubic
HCP	Hexagonal close packed
Mg	Magnesium
NDE	Non-Destructive evaluation
NDT	Non-Destructive Test
Ni	Nickle
Pb	Lead
S	Stress
Si_3N_4	Silicon nitride
T_m	Melting temperature
Ti	Titanium
ν	Poisson's ratio
W	Tungsten

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของการวิจัย

ปัจจุบันวัสดุทางวิศวกรรม มีการแบ่งกลุ่มตามรูปแบบคุณสมบัติของวัสดุศาสตร์ หรือรูปแบบพฤติกรรมของวัสดุ เพื่อสร้างนวัตกรรมที่ให้คุณค่า เป็นประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจสู่การพัฒนาคุณภาพชีวิตในหลายๆด้าน แต่ในทางธรรมชาติของวัสดุต่างๆสามารถเกิดการเสื่อมสภาพได้ตลอดเวลา ส่งผลให้สภาพความแข็งแรงและอายุการใช้งาน ดังนั้นการตรวจสอบสภาพการใช้งานด้วยกระบวนการอะคูสติกส์อิมิชชันจึงเป็นอีกวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์สภาพการแตกหักของวัสดุได้ เพื่อป้องกันและลดความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหาย [1]

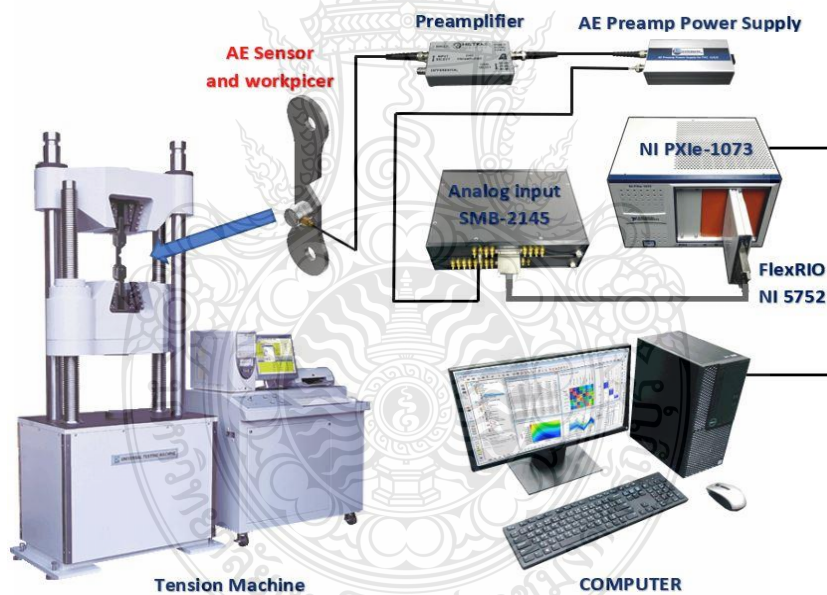


รูปที่ 1.1 การเสื่อมสภาพของถังกักเก็บน้ำมัน

ในทางวิศวกรรมวิธีการอะคูสติกส์อิมิชชัน (Acoustic Emission : AE) เป็นวิธีหนึ่งของการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive testing : NDT) ที่สามารถตรวจวิเคราะห์สภาพภายในวัสดุได้ในขณะที่ดำเนินกระบวนการผลิตหรือใช้งานอยู่ได้ (Real time) ด้วยหลักการตรวจหาแหล่งคลื่นเสียง (Signal) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของวัสดุ (Deformation) ในระดับโครงสร้างจุลภาค โดยการติดตั้งหัวตรวจจับคลื่นเสียง (Sensor) จากจุดที่สนใจที่อาจมีการเริ่มเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ หัวตรวจวัดคลื่นสัญญาณอะคูสติกส์จะรับคลื่นเสียงที่แพร่กระจายตามโครงสร้างวัสดุ และหัวเซนเซอร์จะแปลงคลื่นเสียงเป็นไฟฟ้า ส่งเข้าระบบประมวลคลื่นสัญญาณ และแสดงรูปแบบกราฟเส้น

ด้วยโปรแกรมแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งข้อมูลที่ได้รับจะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อประเมินถึงระดับความผิดปกติภายในโครงสร้างจุลภาคและทำนายผลความเสียหายของชิ้นงานที่ตรวจสอบ [1]

การใช้วิธีอะคูสติกส์อิมิชชันเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพซึ่งเป็นประโยชน์ในการศึกษาการตรวจสอบพฤติกรรมโครงสร้างการเปลี่ยนรูปร่าง (Deformation) ของวัสดุ [2] ภายใต้สภาวะการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้คลื่นความยืดหยุ่นที่เกิดจากวัสดุได้รับความเครียดภายนอกกระทำ เกิดเป็นความแปรเปลี่ยนไปของวัสดุด้วยการใช้เครื่องทดสอบดึงชิ้นงาน ดังรูปที่ 1.2 ในการดึงชิ้นงานเชิงกลทำให้โครงสร้างวัสดุยืดตัวออกอย่างช้าๆ เกิดการแตกร้าวภายในแสดงให้เห็นแหล่งสัญญาณอะคูสติกส์จนกระทั่งชิ้นงานเริ่มฉีกขาดจากกัน พร้อมบันทึกคลื่นสัญญาณอะคูสติกส์ที่เกิดขึ้น และนำคลื่นสัญญาณอะคูสติกส์ที่บันทึกได้มาวิเคราะห์รูปแบบคลื่นด้วยโปรแกรมแลปวิว (Labview) เพื่อศึกษาความแตกต่างที่เกิดขึ้นของวัสดุต่างประเภท ที่แสดงถึงรูปแบบของคลื่นสัญญาณที่ตรวจวัดมีผลเกิดขึ้นต่อโครงสร้างวัสดุ ขณะเริ่มการเสียรูปโครงสร้างของชิ้นงานทดสอบ ซึ่งจะทำให้เข้าใจถึงวัสดุ



รูปที่ 1.2 อุปกรณ์การทดสอบดึงชิ้นงานสร้างกราฟสัญญาณอะคูสติกส์อิมิชชัน

ภายใต้แรงที่มากระทำได้มากขึ้น ทั้งในการวิเคราะห์ตรวจสอบข้อมูล ด้านการวิเคราะห์ออกแบบสร้างและการผลิตวัสดุคอมโพสิต ซึ่งจะพัฒนาความสามารถของโครงสร้างวัสดุและวิจัยศึกษาพฤติกรรมของวัสดุสำหรับในอนาคตต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาลักษณะของสัญญาณอะคูสติกส์ที่เกิดขึ้นขณะที่วัสดุกำลังแตกหัก
- 1.2.2 เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสัญญาณอะคูสติกส์กับพฤติกรรมของวัสดุเมื่ออยู่ภายใต้แรงกระทำจากภายนอก
- 1.2.3 เพื่อเสนอแนวทางการใช้เครื่องมือวัดสัญญาณอะคูสติกส์ ในการเฝ้าระวังและตรวจจับความเสียหายของวัสดุขณะใช้งาน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาพฤติกรรมของวัสดุขณะรับแรงดึงที่มีขนาดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งวัสดุฉีกขาดออกจากกัน 4 ชนิดคือ เหล็กกล้า S45C, เหล็กกล้า SCM440, อะลูมิเนียม 5083-H112 และพลาสติก High Density Polyethylene (HDPE) โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง รุ่น GT-7001 LAC50
- 1.3.2 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบจะถูกออกแบบให้มีรอยบาก เพื่อบังคับให้ชิ้นงานเกิดการฉีกขาดในบริเวณที่กำหนดไว้เท่านั้น
- 1.3.3 ขณะทดสอบจะใช้เครื่องมือวัดสัญญาณอะคูสติกส์ NI PXIe-1073 ที่สามารถวัดสัญญาณอะคูสติกส์ขณะทำการทดสอบแรงดึง
- 1.3.4 การวิเคราะห์สัญญาณอะคูสติกส์ จะใช้โปรแกรมแลปวิว (LabVIEW) ทำการออกแบบและสร้างอินเทอร์เฟซสำหรับบันทึกค่าสัญญาณ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ลักษณะความสัมพันธ์ของสัญญาณ อะคูสติกส์ต่อความเปลี่ยนแปลงของวัสดุ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

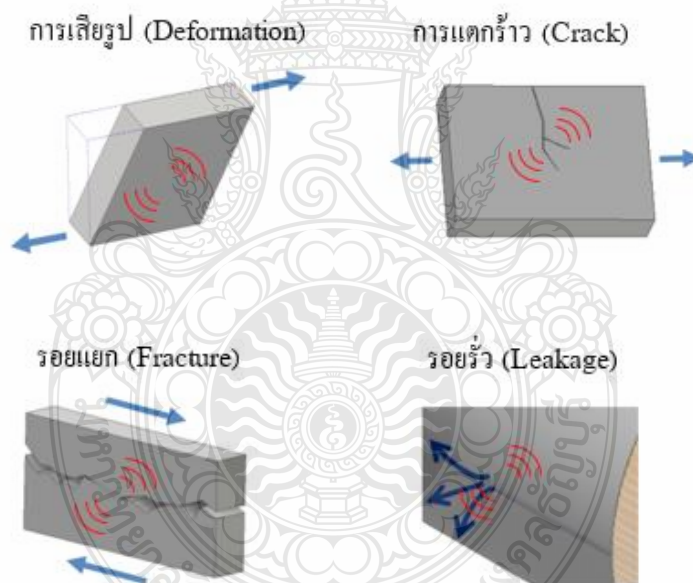
- 1.4.1 สามารถเข้าใจรูปแบบคลื่นสัญญาณอะคูสติกส์อิมิชชันในโครงสร้างของวัสดุ
- 1.4.2 ใช้เป็นข้อมูลการตรวจสอบวิเคราะห์สภาพโครงสร้างวัสดุ
- 1.4.3 เข้าใจพฤติกรรมของโครงสร้างวัสดุขณะมีการเปลี่ยนรูปด้วยวิธีอะคูสติกส์อิมิชชัน

บทที่ 2

หลักการแนวคิดและทฤษฎี

2.1 หลักการแนวคิด

อะคูสติกส์อีมิชชั่น (Acoustic Emission : AE) เป็นรูปแบบวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Test : NDT) หลักในการตรวจสอบของเครื่องอะคูสติกส์อีมิชชั่นใช้หลักการตรวจจับคลื่นสัญญาณเสียงที่อยู่ในรูปของคลื่นแบบยืดหยุ่นชั่วคราว หรือคลื่นสัญญาณเสียงแรกเริ่มของการเคลื่อนที่ภายในวัสดุเมื่อถูกกระทำด้วยแรงอย่างใดอย่างหนึ่ง ซึ่งอาจเกิดการเสียรูปเป็นรอยแตกร้าวที่ตำแหน่งเสียงแรก คลื่นสัญญาณเสียงที่เกิดจะมีทั้งคลื่นเสียงตามยาว (Longitudinal Wave) และคลื่นเสียงตามขวาง (Transverse Wave) โดยจะเคลื่อนที่เป็นรัศมีทุกทิศทางจากแหล่งกำเนิด [3]



รูปที่ 2.1 รูปแบบการเสียหายที่ใช้การตรวจสอบแบบอะคูสติกส์อีมิชชั่น [3]

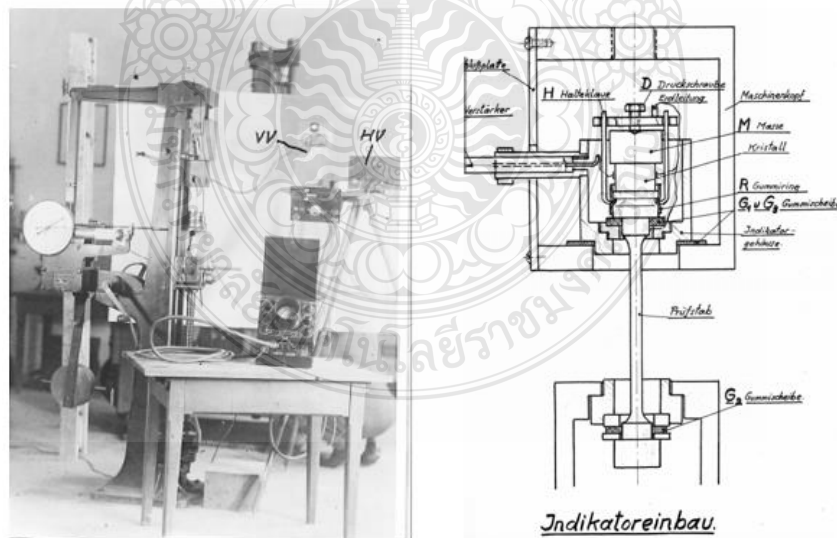
การตรวจสอบทำโดยนำหัวตรวจสอบ (Sensor) วางสัมผัสกับผิวของวัสดุ เมื่อวัสดุถูกแรงมากระทำ ดังรูปที่ 2.1 มีผลทำให้เกิดการยืดตัวในขั้นเริ่มต้นที่จุดยิวต์ (Yield point) ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของโครงสร้างจุลภาคที่จับยึดกันจึงทำให้เกิดเป็นคลื่นเสียงภายในเนื้อวัสดุและบริเวณผิววัสดุ ทำให้หัวตรวจสอบจับคลื่นสัญญาณได้และหัวตรวจสอบจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็น

สัญญาณไฟฟ้าส่งผลตรวจจับสัญญาณไปยังเครื่องวิเคราะห์อะคูสติกส์อิมพัลส์ และแสดงผลเป็นกราฟคลื่นสัญญาณสำหรับวิเคราะห์บอกตำแหน่งการเกิดตำหนิของวัสดุที่กำลังแตกร้าว

นายโจเซฟ ไกเซอร์ (Joseph Kaiser) ในปี 1945 ได้ไปเยี่ยมชมและให้ความรู้เรื่องกลศาสตร์ที่ ม.เทคนิคมิวนิก เขาถาม ศ.ดร.ฟิล ลุดวิก ฟอล์ฟ ว่า “เขาได้ทำวิจัยเกี่ยวกับเสียงที่เกิดขึ้น ขณะที่โลหะมีความเค้นเชิงกล” ซึ่ง ศ.ดร.ฟิล ลุดวิก ฟอล์ฟ มีความสนใจทางวิทยาศาสตร์ขั้นพื้นฐานในการวิจัยเรื่องของพฤติกรรมวัสดุที่เกิดขึ้นภายใต้แรงกดดันทางกล และเป็นงานวิจัยที่ได้รับความสนใจมากทั่วโลกในเวลานั้น เนื่องด้วยยุคสมัยนั้นงานวิจัยที่เกี่ยวกับกระบวนการเสีรูปที่เกิดขึ้นเป็นความผิดปกติของโครงสร้างผลึก มีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นนายโจเซฟ ไกเซอร์ จึงได้รับการอนุมัติเริ่มงานของเขาได้ [4]

นายโจเซฟ ไกเซอร์ ได้สร้างอุปกรณ์ของเขาจากชิ้นส่วนอุปกรณ์ทางทหารที่ล้าสมัย ก็คือ ไมโครโฟนแบบเพียโซคริสตัล (Piezo-Crystal) จากผลึกควอตซ์และ โรเชลล์ซอลต์คริสตัล (Rochelle-salt-crystal) อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมด (เช่น เครื่องขยายเสียงที่มีแอมป์ลิไฟเออร์สูงสุด 10^6) และแสดงเป็นสัญญาณเสียงผ่านออสซิลโลสโคปด้วยหลอดบรรจวน้ำ (หลอดรังสีแคโทด)

ในประมาณปี 1947 เขาได้ทำการตั้งค่าการทดลองครั้งแรกเสร็จสมบูรณ์ (การตั้งค่านี้นี้ได้รับการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องตลอดมา) ดังรูปที่ 2.2 แสดงอุปกรณ์ทดสอบแรงดึงลูกตุ้มแบบเก่าซึ่งสามารถทำงานได้ด้วยตนเอง



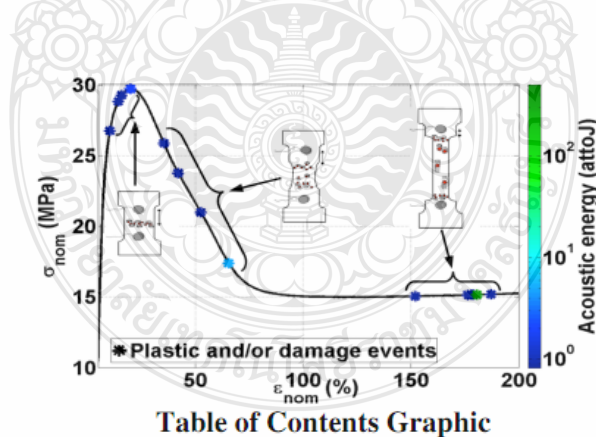
รูปที่ 2.2 การทดลองวัดค่าแรงดึงที่มีเพียโซไมโครโฟนยึดแน่นกับชิ้นงานบนเครื่องทดสอบแรงดึงด้วยลูกตุ้มน้ำหนัก Joseph Kaiser “Diss.10/1320” [4]

ในการทดลองยังคงมีปัญหาค่าที่ต้องแก้ไข ในเรื่องของวิธีการบันทึกตัวอย่างของสัญญาณ เขาได้คิดใช้กล้องภาพยนต์ที่จะสามารถบันทึกข้อมูลได้ 30 เมตร/นาทึ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นบนออสซิลโลสโคปที่อาจสามารถใช้เป็นตัวจดบันทึกสัญญาณขั้นต้นได้โดยหลักการ และจากผลกล้องสามารถบันทึกข้อมูลได้เพียง 30 วินาที ซึ่งน้อยเกินไป เมื่อเทียบกับความยาวของการทดสอบแรงดึง รวมถึงเสียงรบกวนที่เกิดจากกล้องทำให้ค่าการบันทึกผลยังคงเป็นปัญหา

อย่างน้อย โจเซฟ ไกเซอร์ สามารถใช้วิธีการจดบันทึกค่าสัญญาณนี้ได้เพื่อการตรวจสอบไมโครโฟนแบบเพียโซ (Piezo) ที่ออกแบบเองของเขา เพื่อให้เป็นที่ยอมรับในการวิเคราะห์สัญญาณ ความถี่สูงที่ได้ผลการบันทึกไว้นั้น จะต้องมีการวิเคราะห์อย่างละเอียดโดยเครื่องมือวัด

ในที่สุดกล้องขนาด 16 มม. ก็ได้ถูกใช้เป็นอุปกรณ์บันทึกที่สามารถบันทึกอะคูสติคส์อิมพัลส์ของการทดสอบแรงดึงได้แบบสมบูรณ์และผลกระทบของเสียงที่มาจากกล้องก็หมดไป ทำให้ออสซิลโลสโคปสามารถทำงานได้ระหว่างการทดลอง [4]

นายนิโคลัส คาเซียส และคณะ ได้วิจัยเกี่ยวกับ “การปล่อยเสียงของพลาสติกจากการเริ่มต้นการเสียรูปของพอลิเอทิลีนระหว่างการทดสอบแรงดึง” กล่าวว่า ในการทดลองใช้เทคนิคอะคูสติคส์อิมพัลส์ในการตรวจวัดกับวัสดุพลาสติกที่มีอิทธิพลกับระดับ โครงสร้าง ซึ่งมีผลการเกิดสัญญาณในระดับที่น้อยมาก จะสังเกตเห็นว่าจุดการเกิดสัญญาณอะคูสติคส์ของชิ้นงานที่มีพื้นที่หน้ากว้างมากกว่าจะไม่กระจายไปในโครงสร้าง [5] ต่างจากชิ้นงานที่มีพื้นที่หน้ากว้างน้อยและยาวการเกิดสัญญาณจะกระจายตัวไปทั่วไม่แน่นอน



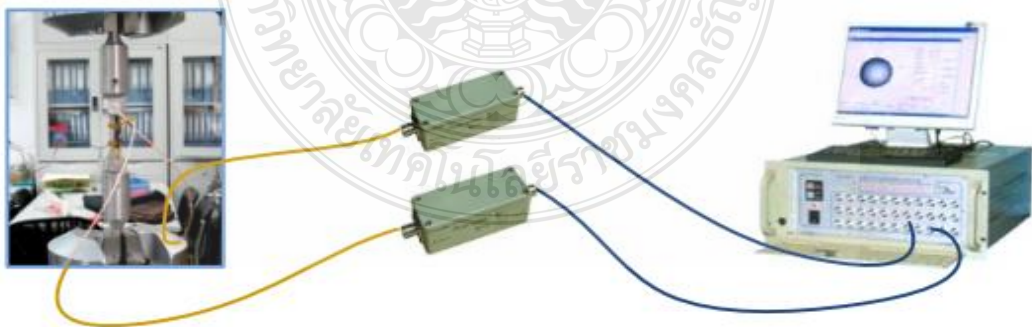
รูปที่ 2.3 การปลดปล่อยสัญญาณอะคูสติคส์จากการเสียรูปของพอลิเอทิลีนในการทดสอบแรงดึง [5]

อันที่จริงในทางทฤษฎีเกี่ยวกับการปลดปล่อยเสียง จะแสดงนัยสำคัญก่อนที่โครงสร้างผลึกจะแสดงค่าสัญญาณสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับวัสดุพอลิเอทิลีน (PE) ที่มีรูปแบบการก่อตัวของ

ระดับสัญญาณ ผลลัพธ์นี้แสดงให้เห็นว่า มีกลไกขนาดเล็กบางอย่างของพลาสติกหรือความเสียหายปรากฏขึ้น แสดงให้เห็นเป็นรูปแบบของสัญญาณอย่างมีความสัมพันธ์อย่างมากกับการบันทึกสัญญาณอะคูสติกส์อิมพัลส์ ในบางกรณีที่ได้จากตัวอย่างพอลิเอทิลีนที่ไม่เกิดสัญญาณแสดงให้เห็นว่ามีระดับการเกิดสัญญาณที่น้อยมาก ในกรณีเหล่านี้การบันทึกสัญญาณอะคูสติกส์อิมพัลส์ แสดงให้เห็นว่า ผลจากการจัดเรียงตัวของโครงสร้างอาจเกี่ยวข้องกับการตรวจจับสัญญาณอะคูสติกส์อิมพัลส์ นอกจากนี้พลังงานเฉลี่ยของสัญญาณอะคูสติกส์อิมพัลส์ อาจจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ กับตัวอย่างของพอลิเอทิลีนที่มีการก่อตัวของโครงสร้างวัสดุซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยพลังงานที่สูงและมีความสัมพันธ์กัน [5]

นายไยโอะ ไอ และคณะ จากมหาวิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีปักกิ่ง [6] ได้วิจัยเกี่ยวกับ “การตรวจสอบการเสื่อมประสิทธิภาพของวัสดุสำหรับโลหะผสมอลูมิเนียมที่มีความแข็งแรงสูงโดยใช้วิธีการอะคูสติกส์อิมพัลส์” ในการทดสอบความเสียหายของวัสดุ โครงสร้างมักจะอยู่ในรูปแบบของข้อบกพร่องขนาดเล็กหรือรอยแตกวิธีการแบบดั้งเดิมหรือแบบดั้งเดิม เช่น การตรวจสอบระดับไมโครและมาโครการทดสอบแรงดึงหรือแรงอัดกระแทกและความแข็งแรงใช้ในการตรวจสอบความเสียหายหรือข้อบกพร่องในระดับไมโคร อย่างไรก็ตาม การทดสอบเหล่านี้มีลักษณะเป็นแบบทำลายและไม่ใช่แบบเรียลไทม์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายและตามเวลาจริงและรูปแบบลักษณะของความเสียหายของวัสดุ

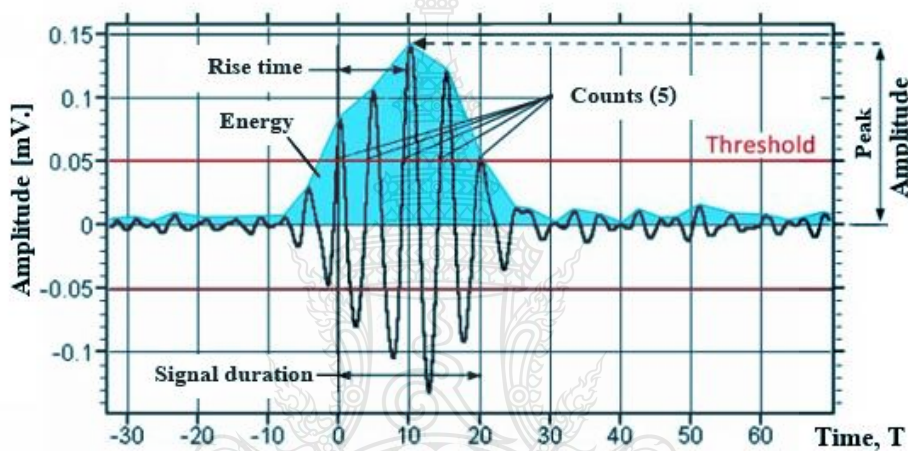
ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าวิธีอะคูสติกส์อิมพัลส์ และการวิเคราะห์สัญญาณสามารถนำมาใช้เพื่อให้การตรวจจับแบบไม่ทำลายในแบบเรียลไทม์ของกระบวนการเสื่อมประสิทธิภาพของวัสดุได้ในโลหะผสมอลูมิเนียมที่มีความแข็งแรงสูง และสามารถใช้กับวัสดุอื่นได้เช่นกัน



รูปที่ 2.4 ระบบการทดสอบแรงดึงด้วยเครื่องมือวัดการปล่อยคลื่นเสียง [6]

2.1.1 พารามิเตอร์อะคูสติกส์อิมพัลส์

การตรวจสอบด้วยอะคูสติกส์อิมพัลส์ในบางกรณี [7] การตรวจวัดสัญญาณขึ้นอยู่กับรอยแตกที่เพิ่มขึ้นเพียงรอยแตกเดียว โดยทั่วไปแล้วมีการบันทึกเสียงที่เกิดแตกหลายครั้งเพื่อการประเมินผลทางสถิติของรูปแบบคลื่นสัญญาณ ที่มีคุณลักษณะในรูปแบบคลื่นสัญญาณบางอย่างทางพารามิเตอร์ ในการกำหนดพารามิเตอร์ที่สำคัญที่สุดของรูปแบบของคลื่นสัญญาณเพื่อเปรียบเทียบผลของโครงสร้างภายใต้ฐานข้อมูลการทดสอบและข้อบกพร่องของวัตถุที่ทดสอบ ซึ่งคุณลักษณะพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ห้อยที่สุด คือ [8]



รูปที่ 2.5 คุณสมบัติของสัญญาณชั่วคราว

Arrival time: เวลาเริ่มต้นของสัญญาณสำหรับเกณฑ์การคำนวณตำแหน่ง

Energy: สัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ถูกแก้ไขในช่วงระยะเวลา

Average Frequency: ค่าเฉลี่ยความถี่ (kHz) ที่กำหนดของสัญญาณอะคูสติกส์

$$A.F = \frac{AE \text{ counts}}{\text{Duration}} [kHz] \quad (2.1)$$

พีคแอมพลิจูด (Peak amplitude, A) : ความกว้างสูงสุดของสัญญาณ คือแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้มากที่สุดในรูปแบบคลื่นและวัดเป็นเดซิเบล (dB) นี้เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการตรวจวัด เพราะจะเป็นตัวกำหนดความสามารถในการตรวจวัดสัญญาณ จะมีการบันทึกสัญญาณที่มีแอมพลิจูดต่ำกว่าขีด จำกัด ขึ้นต่ำที่ผู้ดำเนินการกำหนด [9, 10]

ไรท์ไทม์ (Rise-time, R) : เวลาที่เพิ่มขึ้น หมายถึงช่วงเวลาระหว่างการข้ามเกณฑ์ครั้งแรกกับจุดสูงสุดของสัญญาณ พารามิเตอร์นี้เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายของคลื่นระหว่างแหล่งกำเนิดของเหตุการณ์การแผ่รังสีและเซนเซอร์ ดังนั้นจึงใช้เวลาในการเพิ่มขึ้นเพื่อให้ได้คุณสมบัติของสัญญาณและเป็นเกณฑ์สำหรับตัวกรองสัญญาณรบกวน

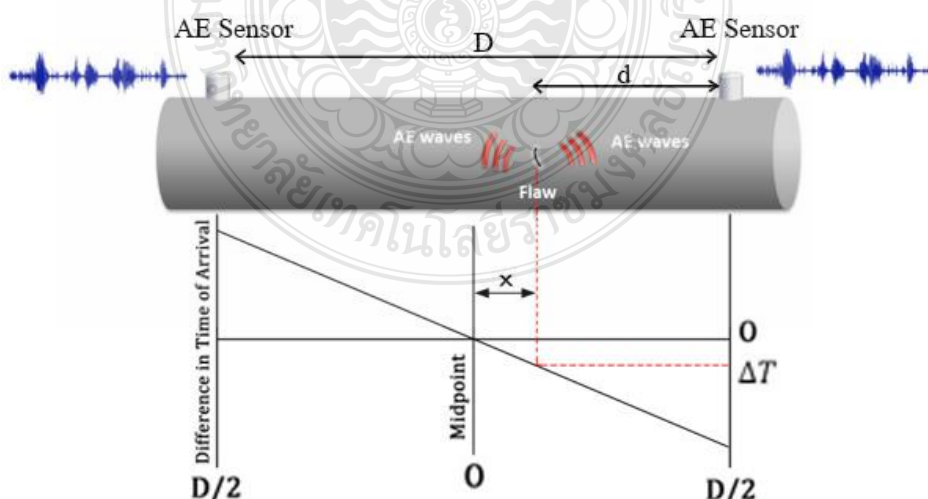
คูเรชั่น (Duration, D) : คือช่วงเวลาที่แตกต่างระหว่างจุดตัดแรกและช่วงสุดท้าย ระยะเวลาสามารถใช้เพื่อระบุชนิดของแหล่งที่มาและเพื่อกรองเสียงรบกวน เช่นจำนวน (N) พารามิเตอร์นี้ขึ้นอยู่กับขนาดของสัญญาณและเสียงของวัสดุ [9, 10]

เคาน์ (Counts, N) : หมายถึงจำนวนของพัลส์ที่ได้รับจากวงจรการวัดถ้าความกว้างของสัญญาณสูงกว่าเกณฑ์ ขึ้นอยู่กับขนาดของเหตุการณ์ และลักษณะของวัสดุการตีหนึ่งอาจทำให้เกิดการนับหนึ่งหรือหลายรายการ แม้ว่าจะเป็นพารามิเตอร์ที่ค่อนข้างง่ายในการรวบรวม แต่ก็มักจะต้องรวมกับการวัดความกว้างหรือระยะเวลาเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีคุณภาพเกี่ยวกับรูปร่างของสัญญาณ

รูท มีน สแควร์ (Root mean square, RMS) : หมายถึง ค่าการวัดทางสถิติของปริมาณที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เป็นค่าเฉลี่ยกำลังสอง [9, 10]

2.1.2 การติดตั้งหัวเซนเซอร์อะคูสติกส์อิมิชชัน

การประยุกต์ใช้งานเพื่อตรวจสอบหารอยร้าวของท่อจะใช้หัววัดอะคูสติกส์สองตัว วางห่างกันด้วยระยะที่กำหนด ดังรูปที่ 2.6 ในช่วงระยะของสัญญาณที่วัดได้จากหัวเซนเซอร์ทั้งสองจะถูกประมวลผลเพื่อทำนายตำแหน่งที่เกิดการแตกหรือการรั่วไหล และในการประมวลผลจะบ่งชี้ถึงแอมพลิจูดของสัญญาณที่ได้มีค่าสูง แสดงว่าการแตกนั้นอยู่ใกล้หัวเซนเซอร์ที่ติดตั้งไว้ [11]



รูปที่ 2.6 การตรวจสอบหาแหล่งสัญญาณเสียงที่เปล่งจากรอยแตกร้าว [11]

จากรูป $d = \frac{1}{2}(D - \Delta T \cdot V)$ (2.2)

$$\Delta T = \frac{2X}{c}$$

$$X = \Delta T \cdot \text{Wave Velocity}$$

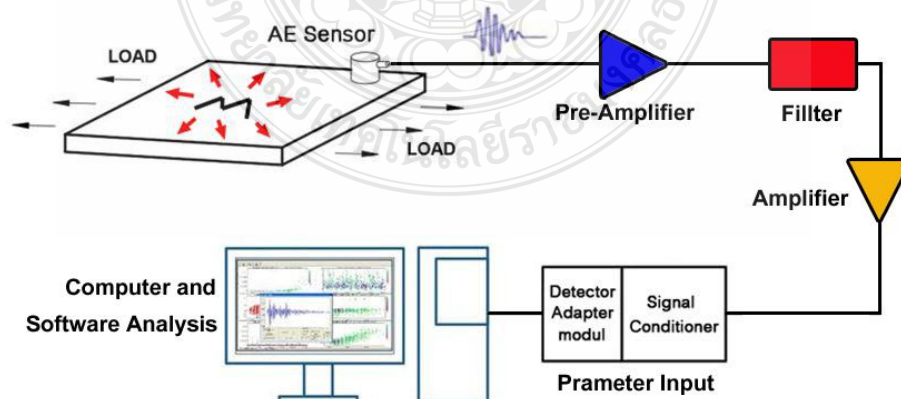
- เมื่อ d = ระยะห่างรอยแตกร้าวของเซนเซอร์แรก
 D = ระยะห่างของเซนเซอร์ทั้งสอง
 V = ความเร็วของคลื่นสัญญาณ

2.1.3 แหล่งสัญญาณอะคูสติกส์อิมิชชั่น

อะคูสติกส์เป็นปรากฏการณ์ของคลื่นยืดหยุ่นชั่วขณะที่เกิดขึ้นจากการปลดปล่อยพลังงานอย่างฉับพลันจากแหล่งกำเนิดที่อยู่ภายในวัสดุ แหล่งกำเนิดของอะคูสติกส์อิมิชชั่นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ แหล่งกำเนิดพื้นฐานของวัสดุ และที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเทียม

แหล่งกำเนิดพื้นฐานของวัสดุ เช่น การแตกร้าว การเสียรูปแบบพลาสติก การเปลี่ยนแปลงสถานะของวัสดุในความเสียหายที่เกิดจากความล้า การเปลี่ยนตำแหน่งของการเคลื่อนที่

สัญญาณที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเทียม คือปรากฏการณ์ที่ก่อให้เกิดแหล่งกำเนิดพื้นฐาน เช่นการร้าวไหล การสึกหรอในเครื่องจักรกล และการเสียดสีเป็นต้น โดยทั่วไปพลังงานของแหล่งกำเนิดอะคูสติกส์อิมิชชั่นจะแผ่ขยายออกไปทุกทิศทาง เมื่อแหล่งกำเนิดในวัสดุเกิดถูกกระตุ้นขึ้น ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ระบบตรวจวัดคลื่นสัญญาณ

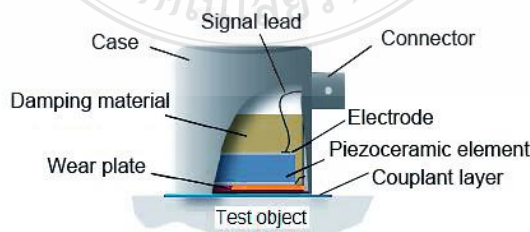
คลื่นจะเกิดการสะท้อนกระจายเป็นรัศมีแผ่ขยายกระทบกับขอบเขต คลื่นชนิดนี้จะมีคุณสมบัติเหมือนคลื่นทั่วไปที่เกิดการสะท้อน การหักเห การแพร่กระจาย การแทรกสอด การถูกดูดกลืน การลดทอนพลังงาน เป็นต้น ระบบตรวจวัดสัญญาณอะคูสติกส์อิมิชชัน ประกอบด้วย หัววัดอะคูสติกส์ (Sensor) ชุดปรับปรุงสัญญาณพรี-แอมพลิฟายด์ (Pre-amplifier) อุปกรณ์แปลงคลื่นสัญญาณคาต้าแอกไควซิชั่น (Data acquisition card) คอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์ สัญญาณที่ตรวจวัดได้สามารถจัดเก็บเป็นไฟล์ข้อมูลเพื่อใช้ประมวลผลสัญญาณอุปกรณ์แต่ละชนิดมีความสำคัญและรายละเอียดดังนี้

หัวอะคูสติกส์อิมิชชัน เป็นหัวเซนเซอร์ทำจากเลดเซอร์โคเนตไททาเนต (Lead Zirconate Titanate) หรือเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) ใช้ตรวจวัดคลื่นสัญญาณที่แผ่ขยายในวัสดุที่กระทบกับเซนเซอร์ เป็นปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์เชิงกลที่เปลี่ยนรูปมาเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าในรูปแบบของแอมพลิฟายด์แรงดันไฟฟ้า ที่เทียบกับเวลา หัวเซนเซอร์มีช่วงความถี่กำหนดการใช้งานระหว่าง 25-2500 kHz ที่อุณหภูมิระหว่าง -50 ถึง 500 องศาเซลเซียส

พรีแอมพลิไฟเออร์ เป็นอุปกรณ์ที่รับคลื่นสัญญาณจากหัวเซนเซอร์ สัญญาณที่ได้รับจะมีค่าความยาวคลื่นต่ำมาก พรีแอมพลิไฟเออร์สามารถขยายสัญญาณได้ตามการทดสอบที่แตกต่างกัน ในงานทดสอบทางอะคูสติกส์อิมิชชันอุปกรณ์พรีแอมพลิไฟเออร์สามารถปรับค่าแรงดันไฟฟ้าและจ่ายพลังงานผ่านสัญญาณขาออก BNC ที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์วิเคราะห์สัญญาณต่อไป [9]

2.1.4 ประสิทธิภาพของเซนเซอร์และการสอบเทียบ

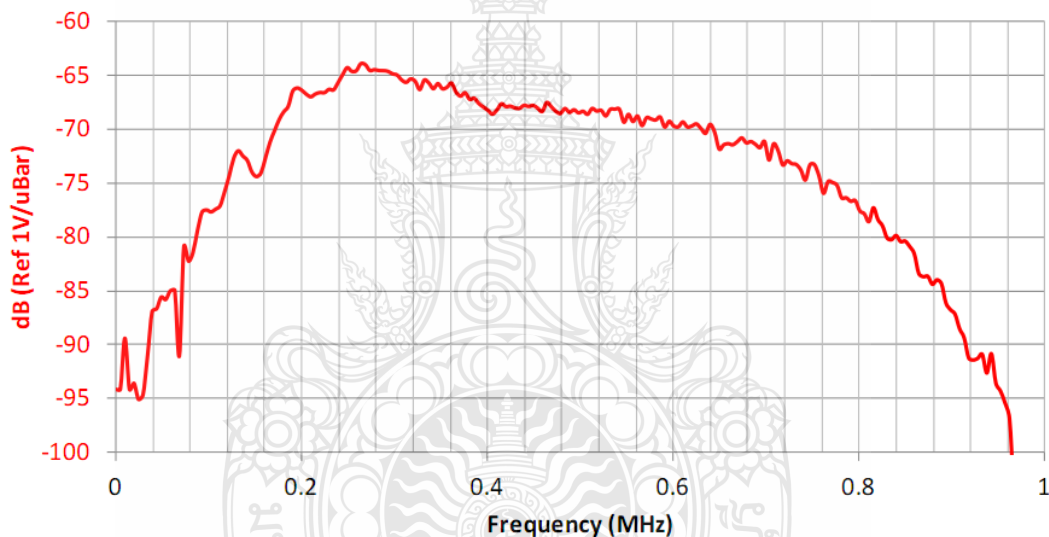
เซนเซอร์ตรวจจับคลื่นสัญญาณ [12] ใช้หลักการเดียวกับตรวจจับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) มีชื่อเรียกตามภาษากรีก หมายถึง “บีบ” วัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่ทำด้วยคริสตัลจะรับพลังงานเสียงและถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าในหัวเซนเซอร์ของอะคูสติกส์อิมิชชัน ตัวผลึกเพียโซอิเล็กทริกมีความไวต่อการตอบสนองของเสียงความถี่สูง เมื่อเกิดการเสียรูปการเคลื่อนไหวหรือถูกกระแทกด้วยแรงจะส่งผลเป็นคลื่นเสียงเข้ามายังเพียโซอิเล็กทริกที่มีอยู่ในหัวเซนเซอร์ ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ส่วนประกอบภายในหัวเซนเซอร์ AE Sensor [9]

ซึ่งเป็นผลทำให้เพียโซอิเล็กทริกสร้างแรงดันไฟฟ้าขึ้นเองได้ เมื่อกระทบกับแรงกระตุ้นอย่างฉับพลัน องค์ประกอบเพียโซอิเล็กทริกจะสั่นสะเทือนเกิดเป็นความถี่เรโซแนนซ์เชิงกล ที่สามารถผลิตเป็นแรงดันไฟฟ้าออกมา เป็นลักษณะการเคลื่อนไหวแบบเชิงเส้นที่จะสามารถเพิ่มแรงดันไฟฟ้าได้เป็นสองเท่าในทางส่งออก ด้วยความถี่ของการเคลื่อนที่ของอัตราส่วน (ค่าความต่างศักย์/ความกว้างของคลื่น) เป็นตัวชี้วัดปฏิกิริยาตอบสนองความไวของเซนเซอร์ (จำนวนการสั่นต่อวินาที)

การเปรียบเทียบเส้นโค้งจากเซนเซอร์แสดงให้เห็นว่าความไวของเซนเซอร์แตกต่างกันตามความถี่อย่างไร ดังรูปที่ 2.9 รูปร่างของเส้นโค้งเป็นตัวบ่งบอกลักษณะของชนิดเซนเซอร์ว่ามีความแตกต่างกันของคลื่นสัญญาณอย่างมากในด้านความไวและการตอบสนองต่อความถี่ ดังนั้นชนิดของเซนเซอร์ที่เลือกใช้ควรเปรียบเทียบเส้นกราฟของหัวเซนเซอร์แต่ละตัว



รูปที่ 2.9 เส้นโค้งการสอบเทียบเซนเซอร์โดยทั่วไป

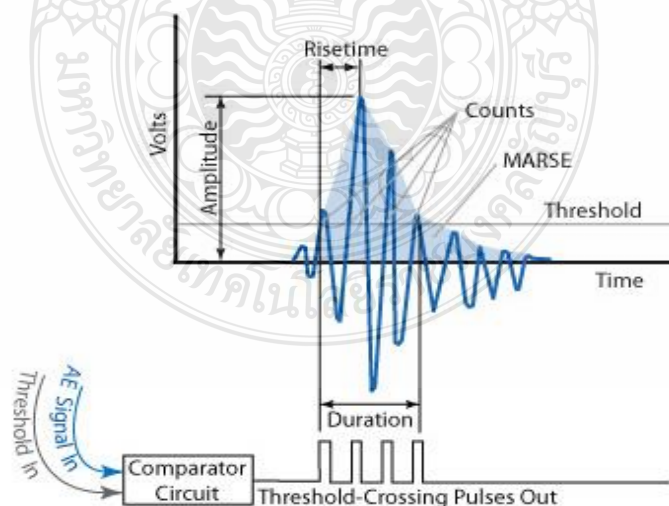
จากกราฟการเปรียบเทียบที่แสดงความกว้างของการเคลื่อนที่ของสัญญาณขาเข้าจากระบบได้ในหน่วยความเร็วของการเคลื่อนที่ (เมตรต่อวินาที) หรือแรงดัน (Microbars) หมายถึงความกว้างของการสั่นของไซน์ที่ความถี่ที่ระบุในแกน X และแกน Y (ความไว) ที่ปรับเป็นตัววัดที่มีความสัมพันธ์ต่อเดซิเบลที่แต่ละตัวมีค่าเพิ่มขึ้น 12.2% เมื่อเทียบกัน แสดงว่า 6 dB เป็นสองเท่า และ 20 dB มีความไวเพิ่มขึ้นเป็นสิบเท่า เส้นโค้งจากการสอบเทียบของเซนเซอร์ที่เป็นแกน Y แสดงค่าเป็นเดซิเบล โดยเทียบกับระดับค่าอ้างอิง เช่น 1 โวลต์ ต่อเมตร/วินาที นั่นคือ ศูนย์เดซิเบล หมายถึงความไวของแรงดัน 1 โวลต์ ดังแสดงในรูป 6dB เท่ากับความไว 2 โวลต์ต่อเมตร/วินาที ดังสูตรคำนวณ [12]

$$dB = 20 \log (S/S_{ref}) \quad (2.3)$$

โดย S คือความไว และ S_{ref} ระดับการอ้างอิงทั้งที่ระบุไว้ในโวลต์ต่อวินาที

2.1.5 สัญญาณและการวัด

ในการออกแบบเซนเซอร์อะคูสติกส์อิมิชชัน สำหรับการทดสอบแบบไม่ทำลายมีการสร้างให้มีความไวสูงของการตอบสนองต่อความถี่ที่สอดคล้องกันอย่างมีประสิทธิภาพ ในสภาพแวดล้อมการทำงานและป้องกันต่อเสียงรบกวนที่ไม่พึงประสงค์ อาจรวมถึงการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากสัญญาณวิทยุของระบบนำทาง การป้องกันจากเสียงรบกวนชนิดนี้ได้รับการพัฒนาขึ้นอย่างมาก โดยมีการพัฒนาเซนเซอร์แบบพีเอ็มเอ็มขึ้นมาก่อน เซนเซอร์จะมีตัวพีเอ็มเอ็มไฟเบอร์ติดตั้งภายในตัวเครื่องพร้อมกับส่วนประกอบเพียโซอิเล็กทริก การทดสอบในภาคสนามซึ่งจะมีข้อได้เปรียบมากกว่าเซนเซอร์แบบเดิมที่จะมีการแยกพีเอ็มเอ็มไฟเบอร์ต่างหากออก เซนเซอร์อะคูสติกส์จะต้องสัมผัสกับวัสดุที่ทดสอบ เพื่อที่จะตรวจจับการเคลื่อนไหวของคลื่นสัญญาณอะคูสติกส์อิมิชชันและส่งสัญญาณที่แรง เทคนิคการจับคู่และติดตั้งมีความสำคัญมาก เซนเซอร์ที่ยึดหน้าสัมผัสกับผิววัสดุที่ตรวจสอบด้วยซิลิโคนที่เหมือนกาว พื้นผิวต้องเรียบมีความสะอาด ในการยึดติดตั้งหัวเซนเซอร์อาจใช้วิธีการอื่นๆ หลังจากติดตั้งเรียบร้อยแล้ว ระบบตรวจสอบประสิทธิภาพด้วยการจำลองสัญญาณอะคูสติกส์อิมิชชันและการตอบสนองของระบบ [12]สัญญาณที่ได้จากหัวเซนเซอร์ถูกขยาย



รูปที่ 2.10 เกณฑ์การตรวจจับสัญญาณ โดยเปรียบเทียบ [10]

สัญญาณด้วยแอมพลิไฟ (Amplified) และกรองสัญญาณการวัดค่าไปที่เครื่องแอมพลิไฟเออร์ (amplifier) ได้รับ จะเพิ่มแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณ เพื่อให้ได้ระดับที่ดีที่สุดในการวัดค่า พร้อมกับ การขยายภาคสัญญาณของตัวกรองความถี่ จะรวมอยู่ในอุปกรณ์อะคูสติกส์อิมิชชัน ตัวกรองสามารถ กำหนดช่วงความถี่ที่จะใช้และลดเสียงรบกวนในพื้นที่หลังความถี่ต่ำ ขั้นตอนเหล่านี้เป็นการขยายและ การกรองจะเรียกว่า “การปรับสัญญาณ” หลังจากปรับตั้งค่าเสร็จสัญญาณจะถูกส่งไปยังวงจรการ ตรวจจับ เพื่อเปรียบเทียบด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ ดังรูปที่ 2.10 ที่เป็นรูปแบบสำหรับเปรียบเทียบ สัญญาณภาคขยายกับแรงดันไฟฟ้าตามเกณฑ์รูปแบบที่ผู้ดำเนินการตรวจสอบกำหนดไว้ [12]

2.1.6 การวิเคราะห์ข้อมูลและแปลความหมาย

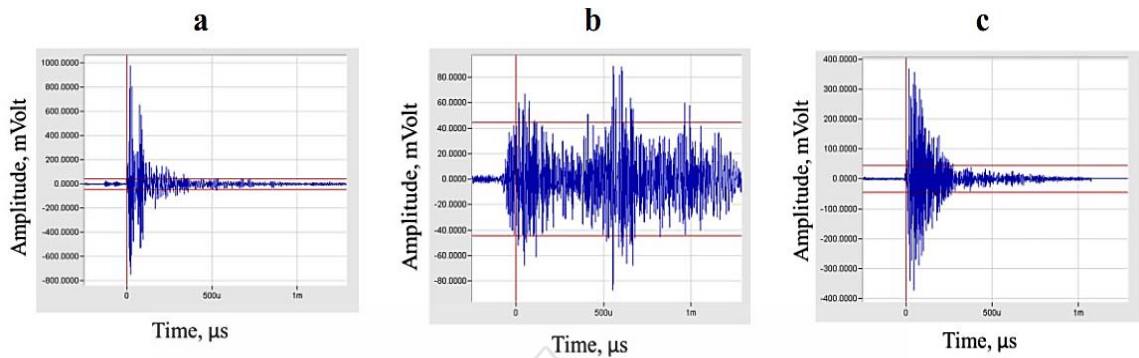
การนำอะคูสติกส์อิมิชชันประยุกต์ใช้ควบคู่กับเทคโนโลยีสมัยใหม่ร่วมกับหลัก วิทยาศาสตร์ และเป็นที่เข้าใจเกี่ยวกับชีวิตรอบตัวเราจะต้องมีเสียงต่างๆเกิดขึ้นมากมาย เช่น เสียง กระจกแตก เสียงเหล็กแตกกร้าว ซึ่งก็มีความแตกต่างของเสียงที่เกิด ภายใต้อิทธิพลของแรง การเกิด เสียงที่เปล่งออกมาเป็นปรากฏการณ์ของการเปล่งคลื่นเสียง โดยมีความถี่ระหว่าง 50kHz ถึง 2MHz คลื่นจะแพร่กระจายไปตามโครงสร้างวัสดุ สำหรับระยะทางหลายเมตรที่หัวเซนเซอร์ Piezoelectric สามารถตรวจหาจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและการแตกหัก เพื่อเป็นการตรวจสอบลักษณะทางกล ของวัสดุ ที่กำลังเกิดการเสียรูปขณะที่มีการใช้งานอยู่ในแบบสังเกตการณ์และวิเคราะห์ข้อมูลการเกิด คลื่นสัญญาณ (Signal) ระหว่างการทดสอบโดยเน้นการทดสอบดังนี้ [7, 11]

การตรวจวัดสัญญาณ : การตรวจหาสภาวะอะคูสติกส์อิมิชชัน โดยการประยุกต์ใช้แอมพลิฟายด์ตรวจวัดความเท่ากันของคลื่นสัญญาณทุกๆช่อง

การกรองสัญญาณ : จากเสียงรบกวนของแรงเสียดทานและกลไกต่างๆที่ไม่เกี่ยวข้องกับ การทดสอบหาสัญญาณ โดยสภาวะที่สงสัยจะมีข้อบกพร่องถูกเลือกนั้นขึ้นอยู่กับเวลาที่เพิ่มขึ้นของ สัญญาณ ระยะเวลา ความกว้างสูงสุด และค่าพลังงานหลังการแก้ไขระยะทางจากแหล่งกำเนิดไปยัง เซนเซอร์ ดังรูปที่ 2.11

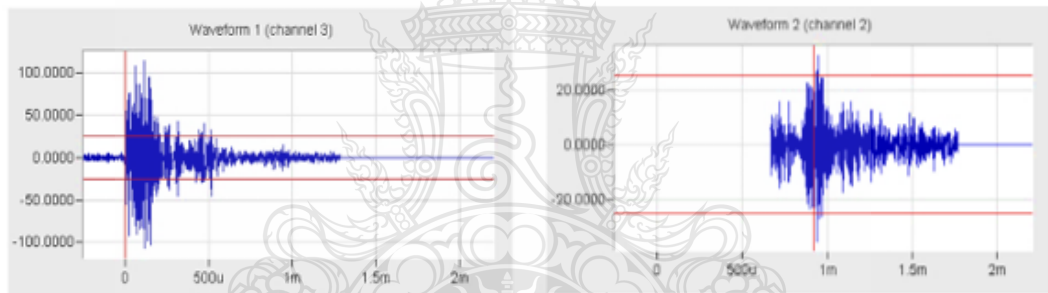
ตำแหน่ง : ความแตกต่างของเวลาเชิงเส้นของตำแหน่งแหล่งคลื่นสัญญาณ เพื่อประเมิน แหล่งต้นทาง เมื่อทำได้จริงในกรณีอื่นๆในการจัดตำแหน่งโซน ดังรูปที่ 2.12

การประเมินค่าบ่งชี้ : วิเคราะห์ตามจำนวนรวมของอะคูสติกส์อิมิชชัน, พลังงาน, แอมพลิฟายด์, ลักษณะความถี่และการสภาวะของอะคูสติกส์อิมิชชันกับตำแหน่งโดยเทียบกับแรงดัน เพื่อ ประเมินสิ่งบ่งชี้ที่แสดง



รูปที่ 2.11 รูปแบบการเกิดสัญญาณประเภทต่างๆจากการตรวจจับ [11]

- (a.) สัญญาณอะคูสติคส์อิมพัลส์ที่คาดว่าจะเกิดการแตกหักของเหล็กออกไซด์
- (b.) เกิดการเสีจรูปในแบบพลาสติกจากความเค้นภายในบริเวณหัวตรวจสอบ
- (c.) เกิดรอยแตกร้าวขนาดเล็กมาก



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างเหตุการณ์เกิดอะคูสติคส์อิมพัลส์ตามแนวท่อ [11]

2.2 การเปลี่ยนรูปของโลหะและคุณสมบัติที่เกี่ยวข้อง

ในกระบวนการขึ้นรูปโลหะที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเสีจรูปมีหลายกรรมวิธี ดังนั้นคุณสมบัติของวัสดุจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องใช้ในการกำหนดลักษณะการขึ้นรูป เช่น การยึดตัวของวัสดุ การดัดงอ เป็นต้น กระบวนการเหล่านี้เป็นการเปลี่ยนแปลงขนาดลักษณะต่างๆ ภายใต้แรงที่กระทำ เช่น ความเค้นแรงดึง ความเค้นแรงกดหรือความเค้นแรงอัด ความเค้นแรงตัด ความเค้นแรงเฉือน ความเค้นแรงบิด เป็นต้น โดยทั่วไปการเปลี่ยนรูปของวัสดุแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

การเปลี่ยนรูปแบบอีลาสติก (Elastic Deformation) เป็นการเปลี่ยนรูปหรือการแปรรูปแบบยืดหยุ่น คือ เมื่อวัสดุได้รับแรงมากระทำในปริมาณที่วัสดุทนอยู่ได้ ไม่เกิดความเสียหาย และเมื่อปล่อยแรงกระทำ วัสดุจะกลับคืนสภาพเดิมได้

การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก (Plastic Deformation) เป็นการเปลี่ยนรูปแบบถาวร คือ เมื่อวัสดุมีแรงมากกระทำเกินจุดพิคคที่วัสดุจะสามารถทนอยู่ได้ ทำให้ขนาดเกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร หรือทำให้วัสดุไม่สามารถคืนสภาพเดิมได้ ในสถานะของการเสียรูปเชิงพลาสติกระหว่างการขึ้นรูปของโลหะมีมากมายและมีอิทธิพลต่อโครงสร้างจุลภาค ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยส่วนผสมและความร้อนเพื่อเปลี่ยนรูปวัสดุ ดังนั้น โครงสร้างจุลภาคจึงเป็นส่วนสำคัญที่จะกำหนดผลลัพธ์ของผลิตภัณฑ์ต่างๆ

2.2.1 การวิเคราะห์ความเค้นแบบยืดหยุ่นที่เกิดจากการแตกร้าว

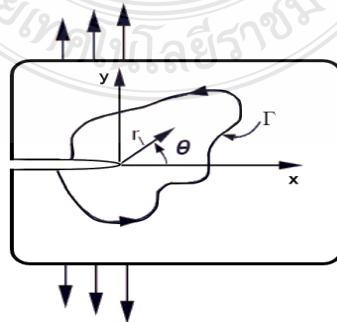
ความเครียดแบบยืดหยุ่นเป็นปฏิกิริยาเริ่มต้นของการเสียรูป [13] ที่แสดงให้เห็นถึงความเครียดระนาบสองมิติและความเค้นของแนวรอยแตกร้าวในขอบเขตที่มีรูปแบบความยืดหยุ่นของโครงสร้าง จากรูปที่ 2.13

$$\sigma_{ij} = \frac{K}{\sqrt{r}} f_{ij}(\theta) + \text{ค่าอื่นๆที่มีผลต่อรอยแตกร้าว} \quad (2.4)$$

เมื่อ r = ระยะห่างรอยแตกร้าว

$f_{ij}(\theta)$ = ค่าสมการของมุมตามแนวแรงที่เกิด

ขณะที่ $K/\sqrt{(2\pi r)}$ เป็นค่าความเครียดที่เกิดขึ้นตรงข้ามกับรอยแตกร้าวในปัจจัยของความหนาแน่นที่มาจากความเครียดที่ค่า K ได้รับ [13] ความเครียดยืดหยุ่นเป็นรูปแบบพื้นฐานของพฤติกรรมการแตกหักที่เรียกว่า กลไกการแตกหักแบบยืดหยุ่น ในการศึกษากลไกการแตกหักของรอยร้าวแบบยืดหยุ่นมีประโยชน์มาก แต่มีข้อจำกัด คือ ความเครียดในระนาบของความเค้นนั้น ความเค้นของระนาบจะมีพฤติกรรมยืดหยุ่นเหมือนกัน แต่จะต่างกันมากในช่วงเกิดการเสียรูปไป [13]

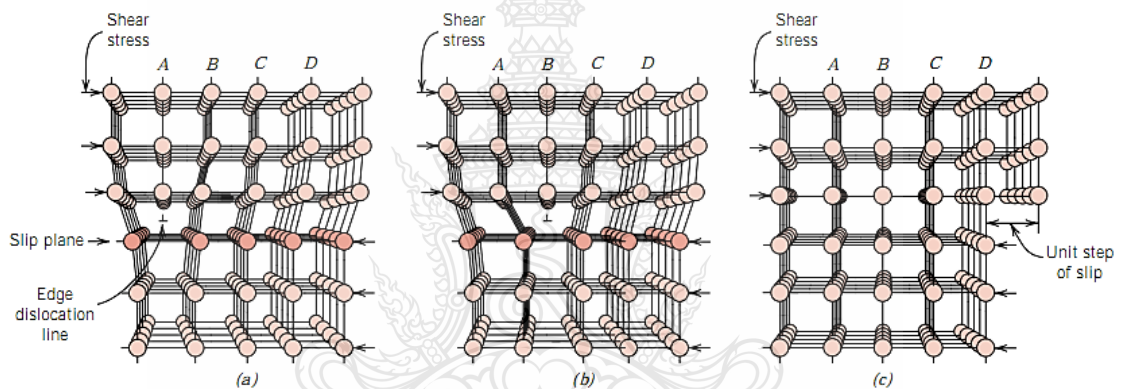


รูปที่ 2.13 ขอบเขตการเสียรูปตามระนาบสองมิติ J เป็นค่าผลรวมทั้งหมดของ Γ

2.2.2 รูปแบบการเกิดดิสโลเคชัน (Dislocation)

การเกิดดิสโลเคชันของวัสดุหรือการเคลื่อนที่บิดเบี้ยวในวัสดุ โดยพื้นฐานมีสองรูปแบบคือ ดิสโลเคชันแบบสกรู และดิสโลเคชันแบบขอบ และหากเกิดทั้งสองแบบพร้อมกันสามารถเรียกว่า ดิสโลเคชันแบบผสม ในแลตทิซสามารถเกิดความคลาดเคลื่อนที่ขอบหรือภายในวัสดุที่ผิดไปของตำแหน่งหรือมีแลตทิซหายไปจากการเรียงตัวกันเป็นระนาบ ทำให้เกิดเป็นความคลาดเคลื่อนทำให้อาจมีผลต่อแรงเฉือน [14, 15]

การเคลื่อนไหวที่เหมือนความยืดหยุ่นทำให้แลตทิซเคลื่อนไปจำนวนมาก เป็นการเคลื่อนไปของดิสโลเคชันแบบขอบตามแรงเฉือนที่มีทิศทางตั้งฉากกับเส้นของรูปแบบกลไกการเคลื่อนที่ ดังรูปที่ 2.14



(a.) มีแรงกระทำที่ระนาบผิวแบบตัดเฉือนสวนทางกัน ทำให้อะตอมระนาบ B สลับเข้าหาระนาบ A

(b.) การเคลื่อนไปของอะตอมไปทางขวาเข้าสู่ระนาบ A ทำให้เชื่อมโยงกับส่วนล่างของระนาบ B จึงทำให้ส่วนบนของระนาบ B หายไปครึ่งระนาบ

(c.) รูปแบบลำดับของพื้นผิวคริสตัลที่มีครึ่งระนาบ

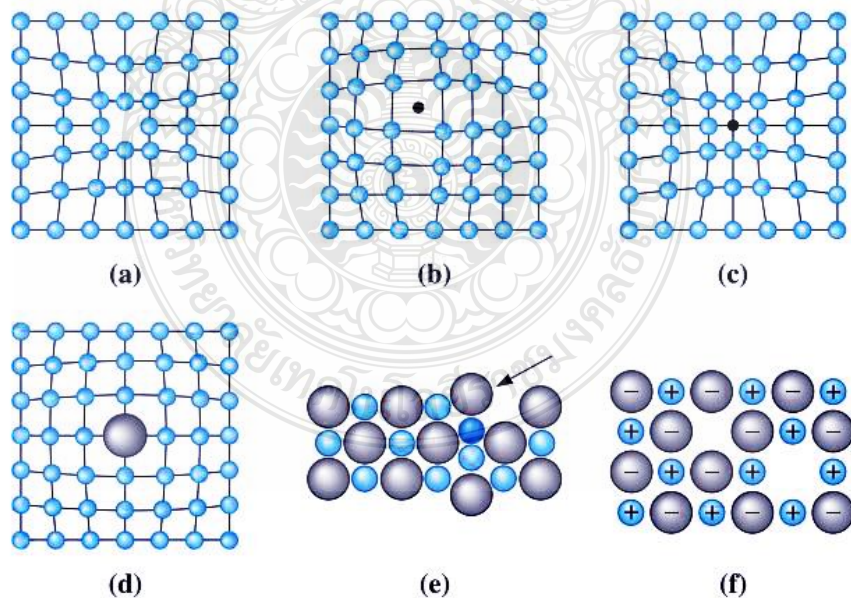
รูปที่ 2.14 การจัดเรียงของอะตอมจะเกิดขึ้นหากว่ามีการเคลื่อนที่ของระนาบขอบผิวที่เป็นผลจากการตอบสนองต่อความเครียดเฉือนที่มากกระทำ [14]

ระนาบมีการเคลื่อนที่ไปเป็นผลจากการเกิดความเค้นแรงเฉือน ที่กระทำในระนาบที่ขนานไปกับแรง ในบริเวณที่ผลึกไม่คงที่หรือความหนาแน่นของผลึกไม่อาจรับแรงที่มากกระทบได้ ทำให้เกิดเป็นการเลื่อนของโครงสร้าง ทำให้เกิดเป็นการเสียรูปพลาสติกที่ไม่สามารถคืนรูปได้ จึงกลายเป็นการเปลี่ยน

รูปถาวร สำหรับการเปลี่ยนรูปร่างของพลาสติกจะแตกต่างจากการเปลี่ยนรูปร่างที่ยืดหยุ่น ซึ่งเป็นการเปลี่ยนรูปร่างในแบบพลาสติกจะแตกต่างจากการเปลี่ยนรูปร่างที่ยืดหยุ่น ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่เกิดขึ้นชั่วคราวในขณะที่แรงหรือความเค้นยังคงเกิดกับวัสดุ ในรูปแบบความยืดหยุ่นของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเป็นผลจากการยืดของพันธะระหว่างอะตอมสำหรับวัสดุที่เป็นโลหะ ดังนั้นกระบวนการเคลื่อนตัวของโครงสร้างจึงเป็นสิ่งสำคัญในการทำความเข้าใจพฤติกรรมทางกลของโลหะซึ่งเป็นที่มาของจุดบกพร่องของวัสดุ

2.2.3 จุดบกพร่อง (Point Defects)

จุดบกพร่อง [16] คือ ตำแหน่งอะตอมที่เกิดการขัดจังหวะกันของการจัดเรียงตัวของอะตอมหรือไอออนใน โครงสร้างผลึกที่สมบูรณ์แบบ จุดที่เกิดความบกพร่องจะส่งผลกระทบต่อรูปแบบโครงสร้างของวัสดุ นั้นหมายถึงอะตอมหรือไอออนรอบๆเกิดความไม่สมบูรณ์ ดังรูปที่ 2.15 อาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากอะตอมหรือ ไอออนเกิดการเคลื่อนที่ไป หรือเมื่อได้รับพลังงานโดยการให้ความร้อนและเกิดการเจือปนของสารอื่นๆ โดยทั่วไปการแทนที่ของสารประกอบต่างๆเป็นผลจากกระบวนการผลิตหรือการแปรรูปทำให้สารเจือปนเป็นองค์ประกอบที่มีการผสมเพิ่มเข้าไปในโครงสร้างจุลภาคเพื่อให้เกิดประโยชน์ในการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ แต่ในบางกรณีการแทนที่ของอะตอมที่เพิ่มเข้า

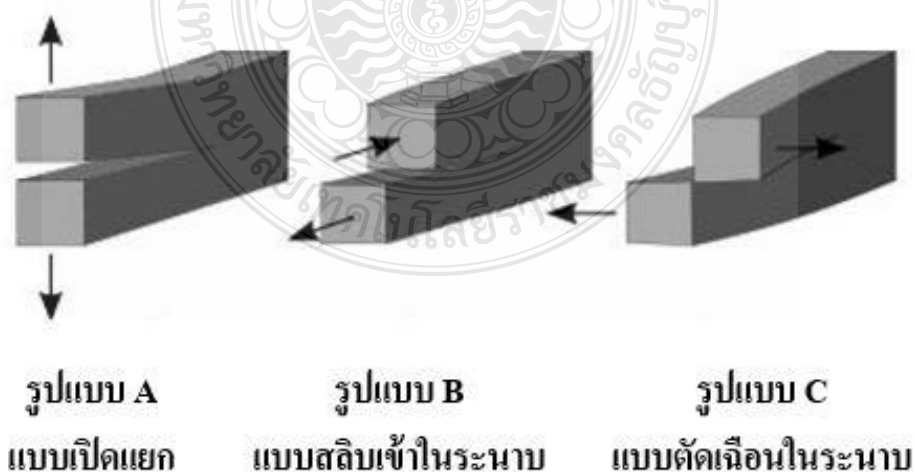


รูปที่ 2.15 จุดบกพร่อง [16] a: ตำแหน่งว่าง b: อนุภาคขึ้นระหว่างอะตอม c: อะตอมของอนุภาคขนาดเล็ก d: อะตอมถูกแทนที่อนุภาคขนาดใหญ่ e: จุดบกพร่องเฟรนเคล f: จุดบกพร่องสก็อตตี้

ไปอาจเป็นส่วนที่ทำให้อะตอมเกิดการเรียงตัวไม่เป็นระเบียบได้ เมื่อสารที่เดิมมีความไม่เหมาะสมต่อสัดส่วน จุดบกพร่องจะเกิดผลต่ออะตอมหรือไอออนของอะตอมหรือไอออนิก จึงเป็นข้อแตกต่างจากจุดบกพร่องที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับความไม่เป็นระเบียบของขอบเกรน โครงสร้าง เป็นจุดสำคัญที่ทำให้วัสดุอาจเกิดการแตกหักได้เมื่อมีแรงกระทำถึงจุดวิกฤตของวัสดุ ดังรูปที่ 2.15 (e)(f) ตำแหน่งว่างระหว่างอะตอมจะถูกสร้างขึ้นได้เมื่ออะตอมหรือไอออนหายไปจากบริเวณปกติในโครงสร้างจุลภาค เป็นโครงสร้างที่มีจุดบกพร่องเป็นช่องว่างจะเป็นตัวสำคัญในการกำหนดไอออนที่สามารถเคลื่อนที่ไปรอบๆของอะตอม

2.2.4 กลศาสตร์การแตกหัก

กลศาสตร์การแตกหัก (Fracture mechanics) เป็นการศึกษาการแพร่กระจายของรอยแตกภายในวัสดุ จะใช้วิธีการของกลไกที่เป็นของแข็งในการวิเคราะห์เพื่อคำนวณแรงที่เกิดบนรอยแตกและกลไกของแข็งในการทดลอง เพื่อระบุลักษณะความต้านทานต่อการแตกหักของวัสดุ กลศาสตร์การแตกหักของวัสดุเป็นเครื่องมือสำคัญที่ใช้ในการปรับปรุงสมรรถนะของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลเป็นการใช้ฟิสิกส์ของความเครียดและพฤติกรรมความเครียดของวัสดุ โดยมีทฤษฎีของความยืดหยุ่นที่เกี่ยวข้องกับผลึก โครงสร้างของวัสดุที่จะทำนายพฤติกรรมทางกลมหภาคของรูปร่างเหล่านั้น มีการใช้ฟิสิกส์ร่วมกับกลไกการแตกหักเพื่อหาสาเหตุของรูปแบบการแตกหัก การเติบโตของรอยแตกเร็ว (Crack growth) ที่เป็นปัจจัยหลักสำคัญของความทนทานต่อความเสียหายของการออกแบบเครื่องจักรกล [17] รูปที่ 2.16 แสดงโครงสร้างรูปแบบกลศาสตร์การแตกเร็วที่เกิดมากที่สุดในการบวนการเชิงกล

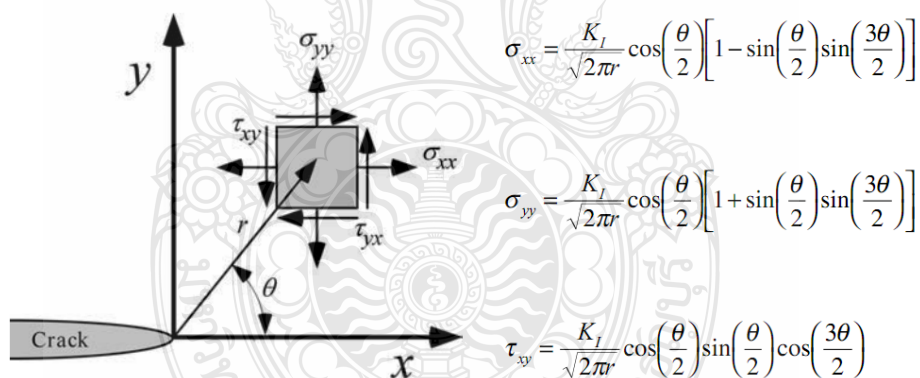


รูปที่ 2.16 รูปแบบการแตกเร็ว

ช่วงการใช้งานเฉพาะกับวัสดุยืดหยุ่นเชิงเส้นภายใต้เงื่อนไขภาวะแบบกึ่งสถิตศาสตร์ (Quasi-static) [1] ในขณะที่ต่อมาความก้าวหน้าในการวิจัยการแตกร้าวที่รวมถึงวัสดุประเภทอื่นๆ เช่น การแตกร้าวของพลาสติกยืดหยุ่น กลศาสตร์ทำให้เข้าใจการเปลี่ยนรูปในแบบพลาสติกภายใต้เงื่อนไขภาวะแบบกึ่งสถิตศาสตร์ (Quasi-static) และในรูปแบบไดนามิก (Viscoelastic) ซึ่งรวมถึงเวลาที่เป็นตัวแปรในการเกิดการแตกร้าวเป็นสำคัญระหว่างกลไกการแตกแบบยืดหยุ่นและเชิงเส้น เนื่องจากในช่วงต้นของพฤติกรรมยืดหยุ่นเชิงเส้นแบบไดนามิก รูปที่ 2.17 และแผนผังที่จะอธิบายถึงประเภทพฤติกรรมการแตกร้าวได้ ดังรูปที่ 2.18 แผนภูมิต้นไม้มองกลศาสตร์การแตกร้าว รวมถึงกลไกการแตกร้าวแบบไม่เชิงเส้น จากรูปที่ 2.19 กลไกความเครียดที่แตกต่างกันไปตามเส้นตรงกับ K_{Ic} ตามสมการ (2.5)

$$K_I = \sigma\sqrt{\pi a} \quad (2.5)$$

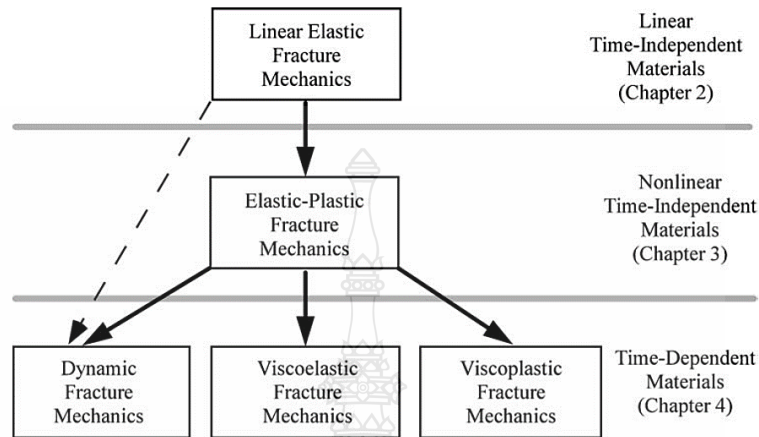
ที่เกิดเป็นความเสียหายเมื่อ $K_I = K_{Ic}$ ในกรณีนี้ K_I คือแรงผลักดันทำให้เกิดการแตกร้าว และ K_{Ic} เป็นเครื่องวัดความต้านทานของวัสดุ [17]



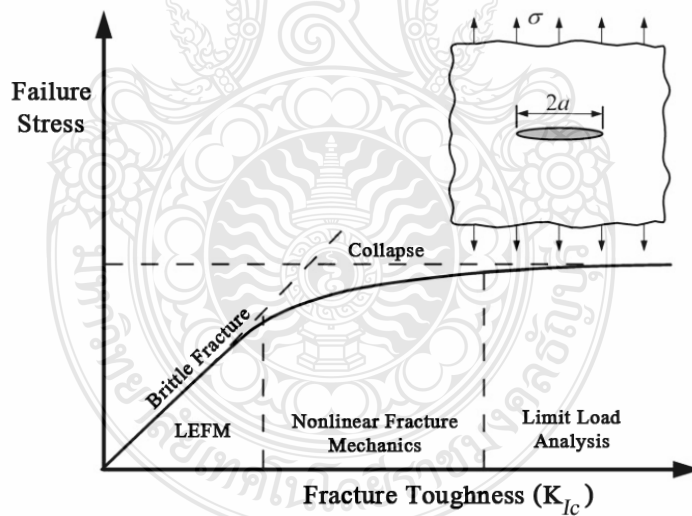
รูปที่ 2.17 ความเครียดใกล้บริเวณแตกร้าวในขณะที่เกิดความยืดหยุ่นของวัสดุ

ที่มีค่าความเหนียวสูงมากจะทำให้ไม่สามารถใช้งานได้อีกต่อไปและความล้มเหลวถูกควบคุมโดยคุณสมบัติของวัสดุ ในระดับความเกร่งปานกลางมีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการแตกหักแบบเปาะภายใต้เงื่อนไขการยืดหยุ่นเชิงเส้นแบบความล้า กลศาสตร์การแตกหักแบบไม่เชิงเส้นเชื่อมช่องว่างระหว่างกับการเสียหาย ถ้าความเหนียวต่ำจะสามารถใช้งานได้ แต่ถ้าความเหนียวมีค่าสูงพอ กลศาสตร์การแตกหักจะไม่ถูกพิจารณาในกรณีเช่นนี้ เนื่องจากความเค้นที่เกิดจากความเครียดจะไม่

สำคัญต่อค่าความเหนียว ในการวิเคราะห์ภาระที่จำกัด คือสิ่งที่จำเป็นต่อการทำนายความเครียดที่เกิดจากความเค้นในวัสดุที่มีความทนทานต่อการแตกหักสูงมาก [17]



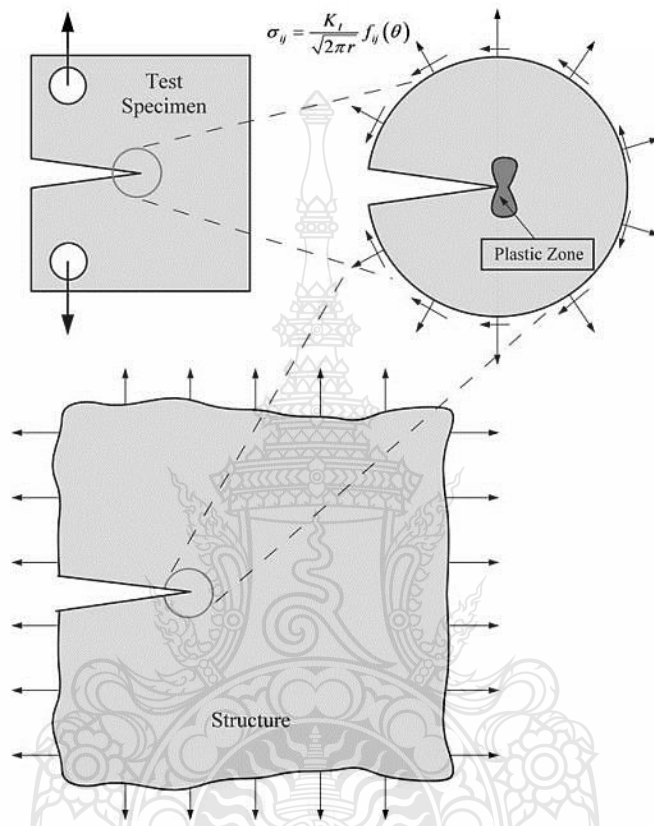
รูปที่ 2.18 แผนภูมิต้นไม้ของกลศาสตร์การแตกหัก [17]



รูปที่ 2.19 ผลของความเหนียวแตกหักต่อกลไกความล้มเหลวในการควบคุม [17]

ภายใต้เงื่อนไขบางอย่าง ค่า K ยังเป็นเงื่อนไขเฉพาะในกรณีการเกิดลักษณะของการแตกร้าว จากรูปที่ 2.20 ในเงื่อนไขของรอยร้าวที่เกิดควรเหมือนกันในทั้งสองรูปแบบกรณีที่มีบริเวณเป็นโซนพลาสติกที่มีขนาดเล็ก เมื่อเทียบกับขนาดที่เกี่ยวข้องกันทั้งหมด ดังนั้นทั้งสองกรณีจะเกิดความเสียหายที่ค่า K ที่

เหมือนกันเมื่อโซนพลาสติกมีขนาดเพิ่มขึ้นบริเวณรอบๆ โชนจะเริ่มเกิดเป็นพลาสติกมากขึ้นไปด้วย ในกรณีนี้ K จะไม่มีค่าความเครียดอีก ซึ่งก็หมายความว่าในทางปฏิบัติ คือ Linear elastic fracture mechanics (LEFM) จะไม่เป็นไปตามเงื่อนไขเมื่อขนาดโซนพลาสติกมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อเทียบ



รูปที่ 2.20 รูปแบบที่มีความเข้มของความเค้นเหมือนกัน [17]

กับขนาดของรอยแตกเป็นสำคัญส่วนประกอบที่ทำงานที่อุณหภูมิสูงเทียบกับจุดหลอมเหลวของวัสดุ อาจเสียหายได้เนื่องจากการขยายตัวของรอยแตกที่ช้ากว่าขนาดเล็กที่มีการเกิดขึ้นอย่างช้าๆ จนเกิดเป็นรอยแตกที่ช้าขนาดใหญ่ในโครงสร้าง จะต้องใช้กลศาสตร์การแตกหักแบบใหม่ในการวิเคราะห์

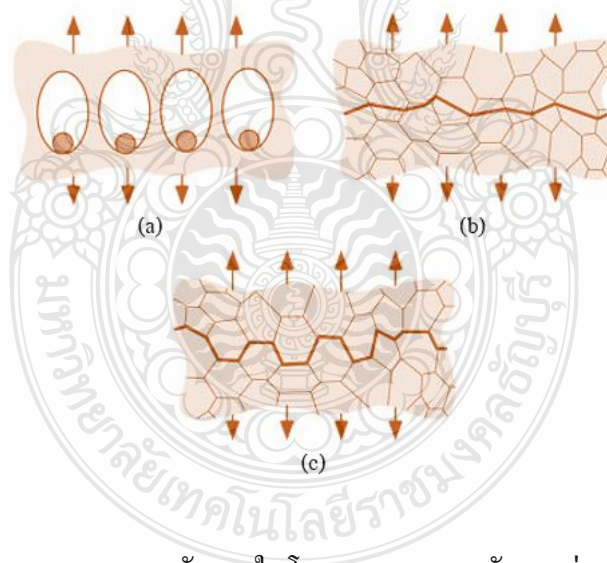
ความสำคัญของกลไกการแตกหักของกลศาสตร์ช่วยให้สามารถออกแบบและเลือกใช้วัสดุได้โดยคำนึงถึงการเกิดที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ มีตัวแปรที่ต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของวัสดุ K_{IC} หรือ K_{IC} ที่เป็นความเครียดของวัสดุต้องทนต่อขนาด หากรู้สองตัวแปรเหล่านี้ จะสามารถเข้าใจถึงหลักการทั้งสามนี้ได้ คือ การเลือกใช้วัสดุถ้าทราบว่ามีขนาดสูงสุดของวัสดุและขนาดของความเค้นที่สามารถเลือกวัสดุที่มีการแตกหักของ K_{IC} หรือ K_{IC} มีค่าที่มากพอที่จะป้องกันไม่ให้ความเสียหายเกิดขึ้น [14]

การออกแบบชิ้นงานถ้าทราบขนาดสูงสุดของวัสดุต่างๆ (ที่ได้เลือก K_C หรือ K_{IC} ไว้แล้ว)จะสามารถคำนวณความเค้นสูงสุดที่ส่วนประกอบสามารถทนต่อได้ จากนั้นจะสามารถออกแบบขนาดที่เหมาะสมของ เพื่อที่จะมั่นใจว่าความเครียดสูงสุดไม่เกิน

การออกแบบวิธีการผลิตหรือการทดสอบต่อการเลือกใช้วัสดุสามารถคำนวณขนาดสูงสุดที่สามารถทนความเสียหายได้ ทั้งเทคนิคการทดสอบแบบไม่ทำลายที่จะตรวจพบว่ามีเหมาะสมจะช่วยให้ชิ้นส่วนดังกล่าวทำงานได้อย่างปลอดภัย

2.2.5 กลไกการแตกหักในโลหะ

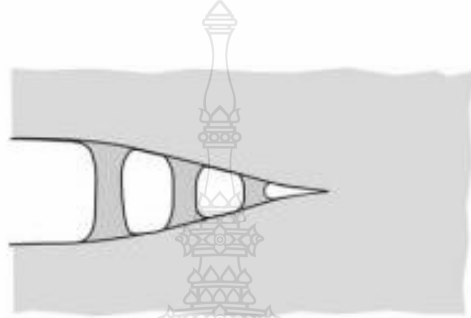
รูปแบบการแตกหักในโลหะที่พบจะมีสาเหตุหลัก 3 สาเหตุ เกิดจากความล้าเหลวของนิวเคลียสที่ไม่ยึดเกาะกันกับโครงสร้างรอบๆข้างทำให้เกิดเป็นช่องว่างที่จะมองเห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์ รูปที่ 2.21 (a) ในบางกรณีเกิดขึ้นจากการแยกเฟสกันของระนาบโครงสร้างผลึกที่เรียกว่าการแตกหักแบบเปราะซึ่งเป็นรูปแบบการแตกหักที่ทำให้วัสดุมีลักษณะการยืดตัวได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแรงที่เกิดและการยึดเกาะของโครงสร้าง รูปที่ 2.21 (b) และการแตกแยกกันตามขอบเกรน (boundary) รอยต่อของเฟสโครงสร้าง รูปที่ 2.21 (c)



รูปที่ 2.21 รูปแบบของสาเหตุการแตกหักภายในโลหะ a: การแตกหักจากช่องว่างของนิวเคลียส
b: การแตกแยกกันผ่านเนื้อโครงสร้าง c: การแตกแยกกันตามขอบเกรน (boundary) [16]

พฤติกรรมของการแตกหัก (Crack-Tip Behavior) ของวัสดุโลหะจะเกิด โซนยิวล์ (Yield zone) ขึ้นก่อน จนทำให้บริเวณนั้นเกิดการแตกหักหรือรอยร้าวขึ้น ในบริเวณที่เกิดแรงเค้นความเสียหายที่เกิดขึ้นจะคล้ายกับลักษณะพลาสติกยืดออก แต่สำหรับในโลหะจะเกิดเป็นการเลื่อนสไลด์ไปและการเลื่อน

ไปจะขึ้นอยู่กับแรงเฉือนที่มากกระทำบริเวณที่แรงเฉือนกระทบบจะมีการเลื่อนไปมากที่สุดและบริเวณโดยรอบของออกมาเป็นรัศมีก็จะมีระดับการเลื่อนไปในทิศทางที่แรงกระทบบ ส่วนที่สำคัญที่สุดของการเกิดรอยแตกก็คือจุดเริ่มแรกที่ทำให้เกิดผลของรอยแตก ซึ่งกลไกของผลที่ทำให้เกิดการยืดออกไปอาจมีแนวโน้มมาจากผิววัสดุ เนื่องจากมีความเค้นแรงดึงในแบบสามแกน หรือเป็นผลมาจากโครงสร้างโลหะภายในวัสดุที่การจัดเรียงโครงสร้างไม่สมบูรณ์ ในบางกรณีก็ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและรูปทรงของการออกแบบชิ้นงานทดสอบ จากรูปที่ 2.22 แสดงบริเวณเกิดรอยแตกกร้าว [17]



รูปที่ 2.22 รอยแตกฉับพลันทำให้เกิดลักษณะการยืดตัวของโครงสร้าง

จากรูปที่ 2.23 เป็นรอยบากที่ขอบวงแหวน (Crack-tip craze zone) แสดงให้เห็นถึงความเครียดโดยทั่วไปทำให้เกิดเป็นรอยสีขาวที่เกิดจากการเสียดรูปภายในเนื้อวัสดุเข้าไปลึกและแสดงให้เห็นที่ผิววัสดุ ซึ่งเป็นจุดสังเกตของความผิดปกติที่ผิววัสดุก่อนจะมีการแตกกร้าว การฉีกขาดของวัสดุที่ปากวงแหวนจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อบริเวณตรงกันข้ามของเนื้อวัสดุที่เกิดเป็นแรงกด มีการอัดแน่นจนถึงจุดที่ไม่สามารถอัดลงได้แล้ว ก็จะทำให้ส่วน โค้งวงแหวนเกิดการฉีกขาดออกจากกัน



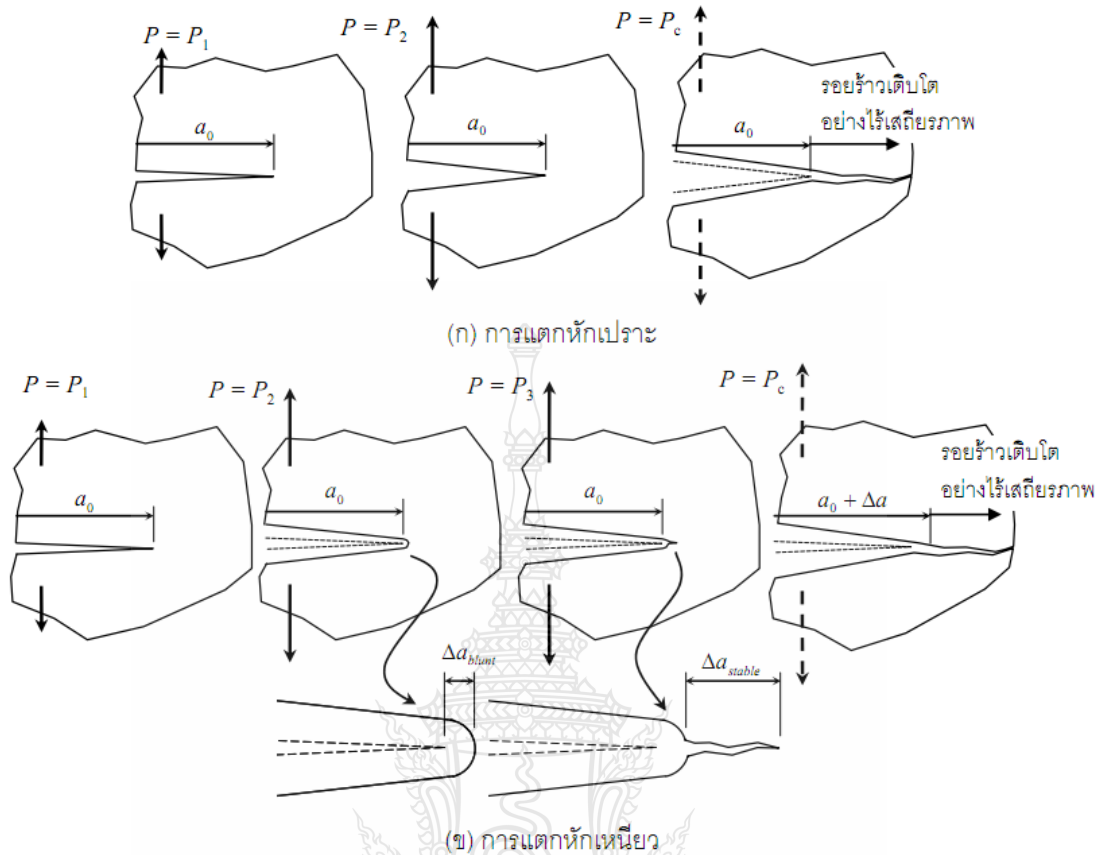
รูปที่ 2.23 บริเวณเกิดความเครียดทำให้มีสีขาวที่ผิวก่อนมีรอยแตก

2.3 ความต้านทานการแตกหักและเกณฑ์การแตกหัก

ความต้านทานการแตกหักเป็นสมบัติของวัสดุจึงต้องหาด้วยการทดสอบเท่านั้น ความต้านทานการแตกหักของวัสดุขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น สถานะความเค้น สภาพแวดล้อม อุณหภูมิ กรรมวิธีทางความร้อน ฯลฯ ดังนั้น การทดสอบหาความต้านทานการแตกหักจะต้องทำที่สภาวะทดสอบและในสภาพแวดล้อมที่คล้ายคลึงกับสภาวะใช้งานจริงมากที่สุด เช่น วัสดุสำหรับทำงานทดสอบควรผ่านกรรมวิธีการแปรรูปทางกลและกรรมวิธีทางความร้อนแบบเดียวกับของโครงสร้าง สถานะความเค้นที่ปลายรอยร้าวของชิ้นงานทดสอบควรจะเหมือนกับของโครงสร้าง เป็นต้น [2]

2.3.1 พฤติกรรมการแตกหักและเกณฑ์การแตกหัก

เงื่อนไขที่บ่งชี้ว่าการแตกหักจะทำให้โครงสร้างเสียหายอย่างสมบูรณ์คือ การที่รอยร้าวเติบโตด้วยอัตราเร็วที่สูงมาก หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การเติบโตอย่างไร้เสถียรภาพของรอยร้าวเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะ คือ รอยร้าวเติบโตอย่างไร้เสถียรภาพจากความยาวเดิม ทันทีที่ขนาดภาระถึงค่าวิกฤติ (unstable crack growth) เป็นการแตกหักที่เรียกว่า การแตกหักเปราะ (brittle fracture) และรอยร้าวเติบโตอย่างมีเสถียรภาพ (stable crack growth) จากความยาวเริ่มต้นระยะทางหนึ่งก่อน แล้วจึงเติบโตอย่างไร้เสถียรภาพ เป็นลักษณะการแตกหักเหนียว (Ductile fracture) รูปที่ 2.24 (ก) และ (ข) แสดงพฤติกรรมการแตกหักเกาะและเหนียว ตามลำดับ สำหรับการแตกหักเกาะในรูปที่ 2.24 (ก) เมื่อขนาดของภาระเพิ่มขึ้นจาก P_1 เป็น P_2 ปลายรอยร้าวจะเปิดกว้างขึ้นแต่ปลายยังแหลมเหมือนเดิม เมื่อภาระเพิ่มขึ้นถึงขนาดวิกฤติ P_c รอยร้าวจะเติบโตอย่างไร้เสถียรภาพจากความยาวเดิม a_0 และทำให้โครงสร้างเสียหาย สำหรับการแตกหักเหนียวในรูปที่ 2.24 (ข) เมื่อขนาดภาระมีค่าเท่ากับ P_2 บริเวณปลายรอยร้าวจะคลากและทำให้ปลายรอยร้าวที่ ความยาวรอยร้าวจะเพิ่มจากเดิมเป็นระยะ Δa_{blunt} การจัดโตของรอยร้าวในช่วงนี้เรียกว่า การเติบโตอย่างมีเสถียรภาพ เพราะว่าหลังจากรอยร้าวเติบโตไประยะทางหนึ่งแล้วรอยร้าวก็จะหยุดเติบโต ถ้าต้องการให้รอยร้าวเติบโตอีกจะต้องเพิ่มภาระอีก กระบวนการเติบโตอย่างมีเสถียรภาพจะเกิดควบคู่ไปกับการเพิ่มขนาดภาระ จนกระทั่งเมื่อภาระมีขนาดเท่ากับ P_c รอยร้าวจะเติบโตอย่างไร้เสถียรภาพในที่สุด [2]



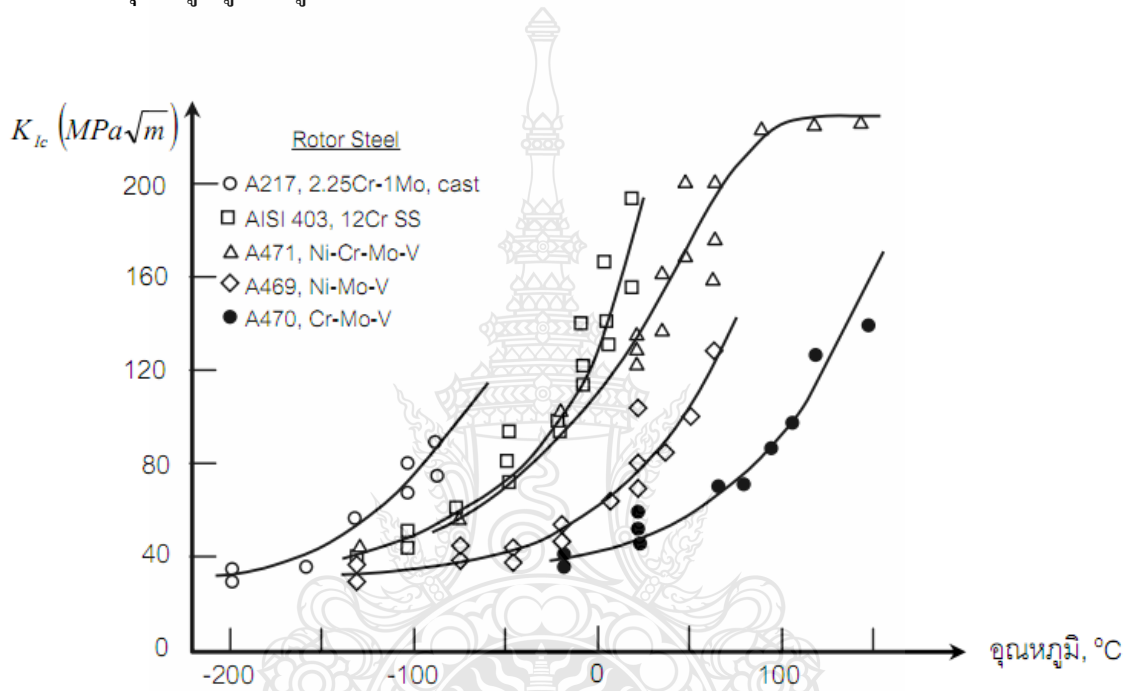
รูปที่ 2.24 พฤติกรรมการแตกหักของโครงสร้างที่มีรอยร้าว [2]

เกณฑ์การแตกหักที่เหมาะสมกับการแตกหักเกาะคือ เกณฑ์การกำเนิดรอยร้าว (crack initiation criteria) ซึ่งกำหนดว่า การแตกหักของโครงสร้างจะเกิดขึ้นเมื่อค่าของพารามิเตอร์ปลายรอยร้าว ณ ความยาวรอยร้าววิกฤติ (ซึ่งเท่ากับความยาวรอยร้าวขนาดนั้น a_0) เท่ากับความต้านทานการแตกหักของวัสดุ

เกณฑ์การแตกหักที่เหมาะสมกับการแตกหักเหนียว คือ เกณฑ์การจัดโตอย่างไร้เสถียรภาพ (unstable crack growth criteria) ซึ่งกำหนดว่า การแตกหักของโครงสร้างจะเกิดขึ้นเมื่อค่าของพารามิเตอร์ปลายรอยร้าว ณ ความยาวรอยร้าววิกฤติ (ซึ่งเท่ากับความยาวรอยร้าวขนาดนั้น $a_0 + \Delta a$) เท่ากับความต้านทานการแตกหักของวัสดุและการเปลี่ยนแปลงของแรงขับเคลื่อนรอยร้าวเทียบกับการเปลี่ยนแปลงความยาวรอยร้าวมีค่าเท่ากับการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานการแตกหักเทียบกับการเปลี่ยนแปลงความยาวรอยร้าว

2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อความต้านทานการแตกหัก

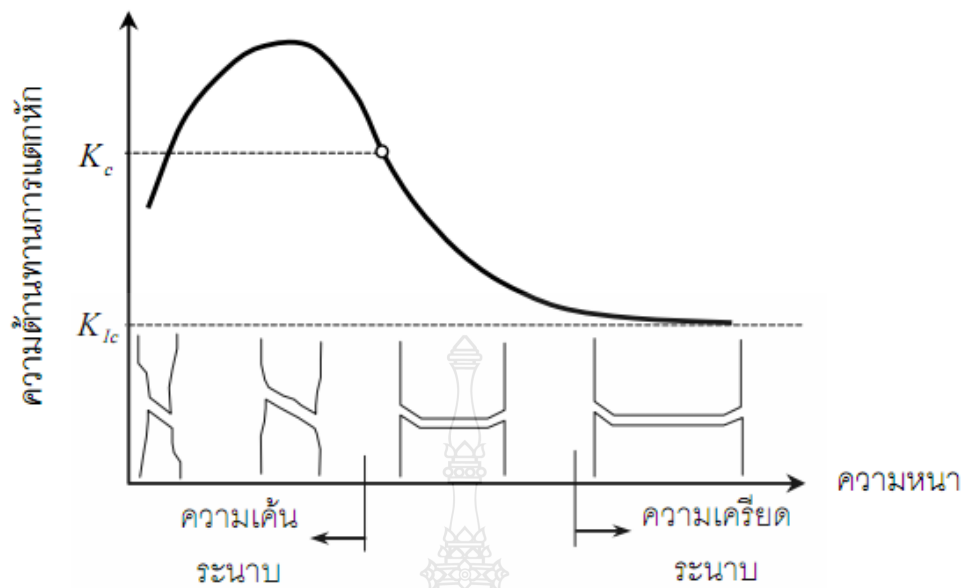
ความต้านทานการแตกหักขึ้นอยู่กับ ชนิดของวัสดุ อัตราเร็วของพระที่กระทำ สถานะความเค้นบริเวณปลายรอยร้าว โหมดการเสียรูปที่ปลายรอยร้าว สภาพแวดล้อม อุณหภูมิ กรรมวิธีแปรรูปทางกล กรรมวิธีทางความร้อน เป็นต้น ดังนั้น ชิ้นงานทดสอบและสภาวะทดสอบจะต้องคล้ายคลึงกับสภาวะใช้งานจริงให้มากที่สุด สำหรับผลของอุณหภูมิโดยทั่วไปพบว่า ความต้านทานการต่างหากเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น รูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 ผลของอุณหภูมิต่อความต้านทานการแตกหักในโหมดที่ 1 ในสถานะความเครียดระนาบของ rotor steel [18]

แสดงตัวอย่างแนวโน้มดังกล่าวของโรเตอร์ สตีล (rotor steel) แนวโน้มนี้ดูเหมือนจะเป็นไปทางด้านดี เพราะหมายความว่า วัสดุสามารถต้านทานการเติบโตของรอยร้าวได้มากขึ้น แต่ในความเป็นจริงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นวัสดุอาจเสียหายเนื่องจากโหมดความเสียหายอื่นเช่น การค้ำทั้งหน้าตัด ฯลฯ ก่อนการแตกหักก็ได้

สถานะความเค้นที่ปลายรอยร้าวสัมพันธ์กับความหนาของชิ้นงานทดสอบ ชิ้นงานที่มีขนาดบาง มีแนวโน้มเป็นความเค้นระนาบ เมื่อความหนาเพิ่มขึ้นสถานะความเครียดและนาบจะดึงขึ้น โดยทั่วไปพบว่าความต้านทานการแตกหักในสถานะความเค้นระนาบสูงควายในสถานะความเครียดแล้วระนาบ [17] รูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 ผลของความหนาต่อความต้านทานการแตกหักในโหมดที่ 1

จากรูป K_c และ K_{Ic} หมายถึง ความต้านทานการแตกหักในโหมดที่ 1 เมื่อสถานะความเค้นไม่ใช่ความเครียดครั้นตามลำดับ เมื่อความหนาเพิ่มขึ้น พื้นผิวแตกหัก (fracture surface) จะเปลี่ยนจากลักษณะเฉียง (Slant) เป็นลักษณะผลสมระหว่างผิวราบตรงกลาง และเฉียงที่ขอบ

มาตรฐาน ASTM E399 [19] แนะนำว่าความหนาชิ้นงานทดสอบ B ที่ทำให้สถานะความเค้นเป็นแบบความเครียดครั้นตามลำดับ คือ

$$B \geq 2.5(K_{Ic}/\sigma_Y)^2 \quad (2.6)$$

โดย σ_Y คือ ความหนาของชิ้นงานทดสอบ และความต้านแรงดึงคราก ตามลำดับ

ในกรณีที่ต้องการประเมินความวิกฤติของโครงสร้างที่มีความหนาที่ไม่พอ จะถือว่าสถานะความเครียดครั้นตามลำดับเด่น การประเมินใช้ K_{Ic} จะให้ผลการประเมินด้านความปลอดภัย (conservative) โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับวัสดุกลุ่มโลหะ ดังนั้นควรใช้ชิ้นงานทดสอบที่หนาเท่ากับความหนาของโครงสร้างเพื่อให้ผลการประเมินแม่นยำขึ้นอย่างไรก็ดี ถ้าไม่สามารถทดสอบหา K_c ได้ ให้ประมาณค่านี้จาก K_{Ic} ด้วยความสัมพันธ์ของ Irwin [20]

$$K_c = K_{Ic} \sqrt{1 + \frac{1.4}{B^2} \left(\frac{K_{Ic}}{\sigma_Y}\right)^4} \quad (2.7)$$

หรือความสัมพันธ์ของ NASA [21]

$$K_c = K_{Ic} + K_{Ic} B_k e^{-\left(\frac{A_k B}{B_{req}}\right)^2} \quad (2.8)$$

โดย A_k และ B_k คือ ค่าคงตัวของวัสดุ (ตารางที่ 2.1)

B_{req} คือ ความหนาที่คำนวณจากสมการที่ (2.6)

B คือ ความหนาของวัตถุ

ตารางที่ 2.1 ค่าคงตัวในสมการที่ (2.7)

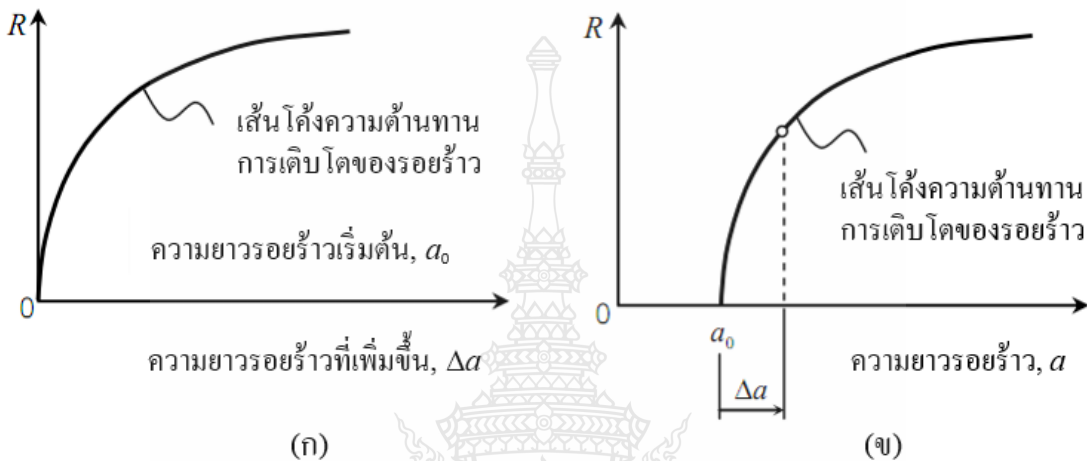
วัสดุ	A_k	B_k
A533-B	0.75	0.5
D6AC	0.75	0.75
HY130	0.75	0.5
AISI304/304L	1	0.5
AL 2024	1	1

2.3.3 เกณฑ์การเติบโตอย่างไร้เสถียรภาพ

ความเสียหายแบบนี้มักจะเกิดกับโครงสร้างที่ทำด้วยเหล็กกล้าความแข็งแรงปานกลาง หรือเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงที่สถานะความเค้นบริเวณใต้รอยร้าวเป็นแบบความเค้นล้วนราบ (ผนังโครงสร้างบาง) กระบวนการเติบโตของรอยร้าวเริ่มจากการเติบโตอย่างมีเสถียรภาพจากความยาวเริ่มต้น a_0 เป็นระยะทาง Δa ก่อนจะเติบโตอย่างไร้เสถียรภาพ ความต้านทานการแตกหักของวัสดุ จึงอยู่ในรูปความสัมพันธ์ระหว่าง ความต้านทานการเติบโตของรอยร้าว (crack growth resistance) R กับความยาวรอยร้าวที่เพิ่มขึ้น Δa ดังรูป 2.27 (ก) หรือกับความยาวรอยร้าวขณะใดๆ a ดังรูป 2.27 (ข) รูปฟังก์ชันนัลของเส้นโค้ง R คือ

$$R = f(\Delta a) = f(a - a_0) \quad (2.9)$$

ในทางกลับกัน หากพิจารณารูปที่ 2.27 (ข) จะพบว่าเส้นโค้ง R หมายถึง ค่าของพารามิเตอร์ปลายรอยร้าวที่ทำให้รอยร้าวเติบโตจากความยาวเริ่มต้น a_0 จนมีความยาว $a_0 + \Delta a$ ดังนั้นแกนตั้งของเส้นโค้ง R จึงมีหน่วยเดียวกับพารามิเตอร์ปลายรอยร้าวที่ใช้ในการวิเคราะห์ สัญลักษณ์ G_R , K_R และ J_R แทนความต้านทานการเติบโตของรอยร้าวสำหรับแรงขับเคลื่อนรอยร้าว G , K และ J ตามลำดับ



รูปที่ 2.27 เส้นโค้งความต้านทานการเติบโตของรอยร้าว (ก) พล็อตเทียบกับความยาวรอยร้าวที่เพิ่มขึ้น (ข) พล็อตเทียบกับความยาวรอยร้าว

2.3.4 การทดสอบความต้านทานการแตกหัก

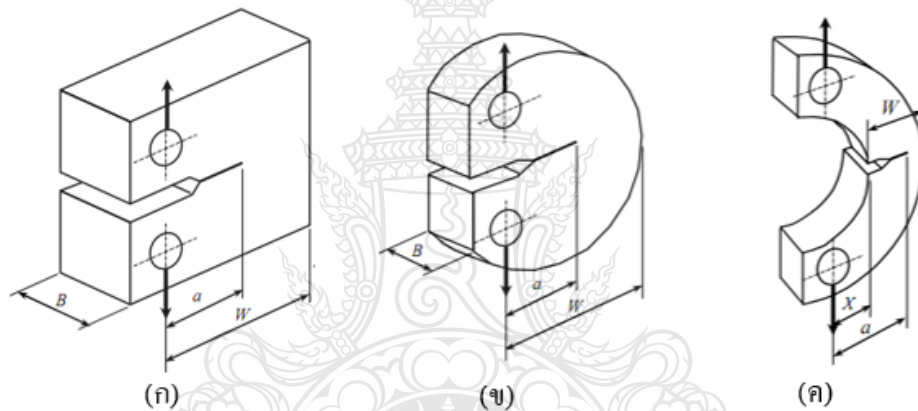
การทดสอบความต้านทานการแตกหักของวัสดุทั้งที่เป็นค่าคงตัว หรือที่เป็นเส้นโค้งความต้านทานนั้นมีภาพรวมเหมือนกันก็คือ ชิ้นงานทดสอบที่มีรอยร้าวจะถูกภาระกระทำจนกระทั่งเกิดการแตกหัก โดยในระหว่างการทดสอบเก็บข้อมูลภาระ ระยะเคลื่อนตัว และความยาวรอยร้าวขณะใดๆ ข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำไปวิเคราะห์หาความต้านทานการแตกหัก และสิ่งที่ควรทราบของมาตรการทดสอบ มีดังนี้

ลักษณะของชิ้นงานทดสอบ (Specimen configuration) ลักษณะของชิ้นงานทดสอบมาตรฐานสำหรับทดสอบหาความต้านทานการแตกหักใน โหมดที่ 1 (โหมดเปิด) ตามมาตรฐาน ASTM E 616 ประกอบด้วย

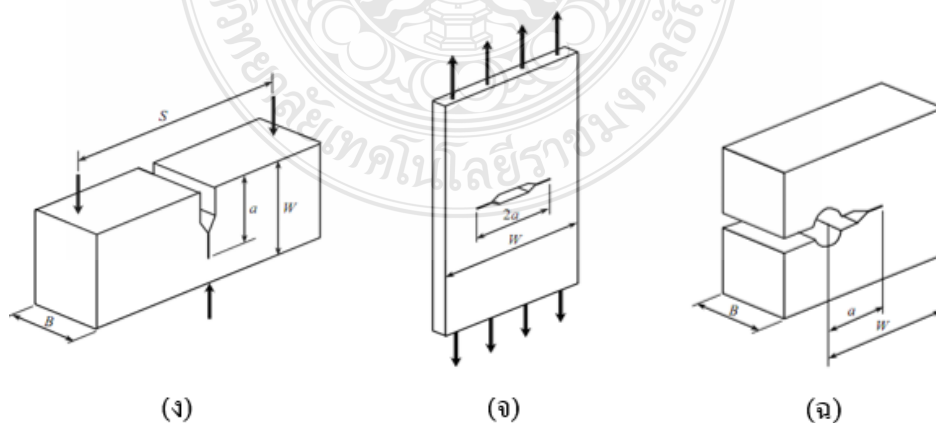
- ชิ้นงานทดสอบ(Compact) รับแรงดึง ดังรูปที่ 2.28 ก.
- ชิ้นงานทดสอบรูปจานกลม(disk-shaped compact) รับแรงดึง ดังรูปที่ 2.28 ข.
- ชิ้นงานทดสอบรูปส่วนโค้ง(arc-shaped) รับภาระดึง ดังรูปที่ 2.28 ค.

- ชิ้นงานทดสอบรอยเจาะขอบด้านเดียว(single-edge-notched) ภาระค้ำ ตั้งรูปที่ 2.29 ง.
- ชิ้นทดสอบมีรอยเจาะตรงกลาง(middle) รับภาระค้ำ ตั้งรูปที่ 2.29 จ.
- ชิ้นทดสอบ compact รับภาระจากลิ้ม ตั้งรูปที่ 2.29 ฉ.

ตัวแปรมิติของชิ้นงานทดสอบ ที่ใช้สำหรับคำนวณพารามิเตอร์ปลายรอยร้าว คือ ความยาวรอยร้าว a ความหนา B และความกว้าง W การเลือกชนิดของชิ้นงานทดสอบมาตรฐานขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น ความสะดวกในการเตรียมชิ้นงานทดสอบจากรูปร่างของวัสดุดิบที่มี ความสะดวกในการให้ภาระชิ้นงานทดสอบแล้วได้โหมคการเสียรูปที่ปลายรอยร้าวสอดคล้องกับปัญหาที่พิจารณา ถึงขีดความสามารถของเครื่องทดสอบ เช่น ภาระสูงสุดที่ทดสอบได้ และระยะเคลื่อนตัวสูงสุด [2]

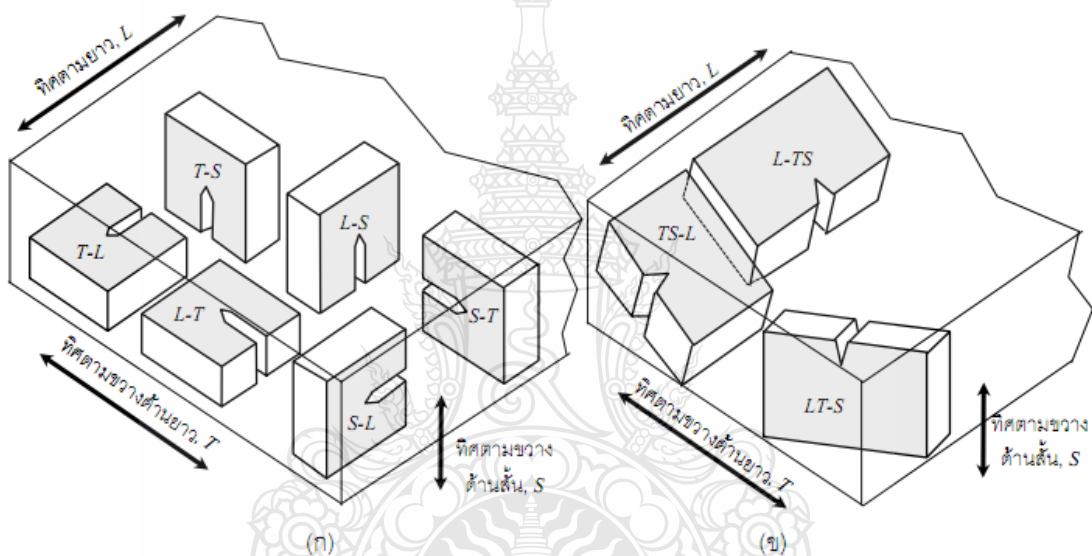


รูปที่ 2.28 ลักษณะของชิ้นงานทดสอบที่มีรูเจาะยึดรับแรงค้ำ



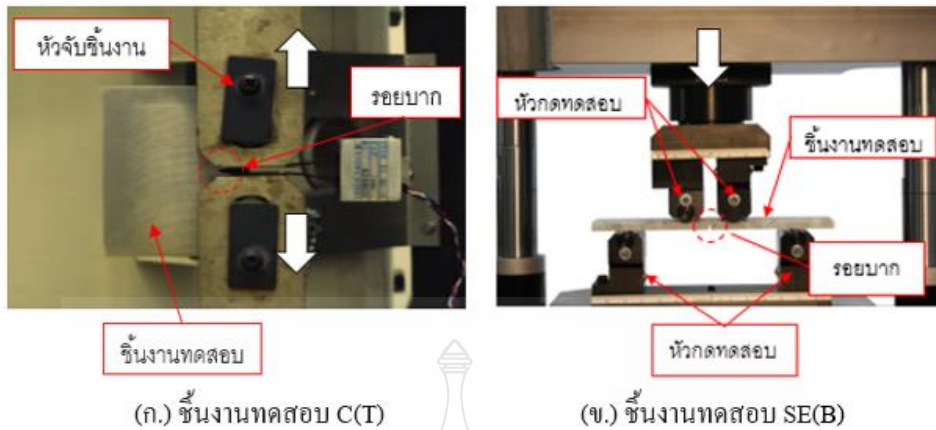
รูปที่ 2.29 ลักษณะของชิ้นงานทดสอบมาตรฐานแบบไม่มีรูเจาะยึด

การวางของตัวชิ้นงานทดสอบ (Specimen orientation) เนื่องจากวัสดุที่ทำโครงสร้างทางวิศวกรรมส่วนใหญ่ต้องผ่านกระบวนการแปรรูปทางกล เช่น การรีด การปั๊มขึ้นรูป เป็นต้น ทำให้การต้านทานการแตกหักขึ้นกับทิศทาง การรายงานผลการทดสอบจึงต้องระบุว่าชิ้นงานทดสอบวางตัวอย่างไรเทียบกับวัตถุคิบ ถ้าชิ้นงานวัตถุคิบที่ทำชิ้นงานทดสอบมีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังรูปที่ 2.30 และทิศทางหลัก (principal direction) ที่จำเป็นสำหรับการระบุการวางตัวของชิ้นงานทดสอบมีดังนี้ ทิศตามขวางด้านยาว หรือด้านความกว้างของหน้าตัด แทนด้วยตัว T หรือทิศตามขวางด้านสั้น (short transverse) หรือด้านความหนาของวัตถุคิบ แทนด้วยตัวอักษร S



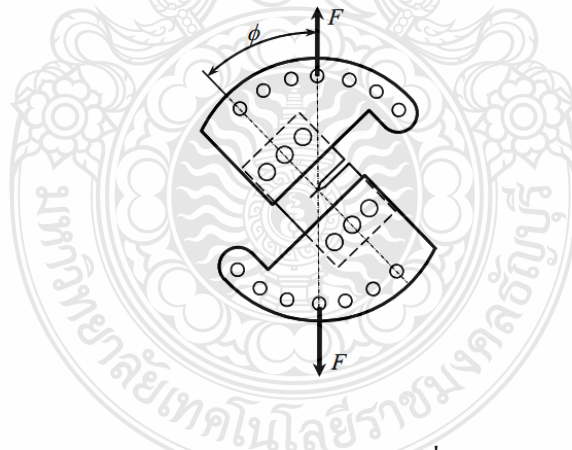
รูปที่ 2.30 การวางตัวของชิ้นงานทดสอบเทียบกับวัตถุคิบหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า [2]

การจับยึดชิ้นงานทดสอบ จะต้องพิจารณาภาระที่กระทำต่อชิ้นงานทดสอบที่เกิดจากการเคลื่อนที่ขึ้น-ลง การเคลื่อนที่ของเครื่องทดสอบสามารถดัดแปลงให้เกิดโหมดการเสียรูปที่ปลายรอยร้าวแบบต่างๆได้ด้วยการเปลี่ยนตัวจับชิ้นงาน (grip) หรือลักษณะของชิ้นงานทดสอบ รูปที่ 2.31(ก.) และ (ข.) แสดงวิธีจับชิ้นงานทดสอบ C(T) และ SE(B) ตามลำดับ สำหรับการทดสอบแบบโหมดที่ 1



รูปที่ 2.31 การจับยึดชิ้นงานทดสอบสำหรับการทดสอบในโหมดที่ 1

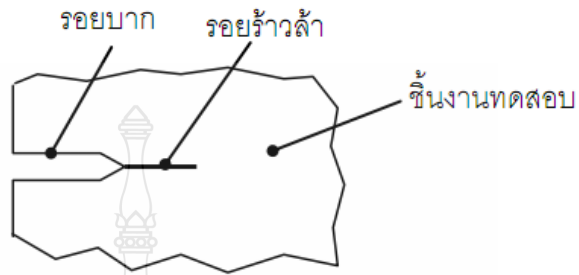
ชิ้นงานทดสอบ C(T) ต่อกับตัวจับด้วยสลัก ส่วนชิ้นงานทดสอบ SE(B) จะวางบนแท่นรองรับ และถูกหัวกดเคลื่อนลงมากด และจากรูปที่ 2.32 แสดงการจับยึดชิ้นงานทดสอบสำหรับการทดสอบโหมดผสม 1 และ โหมด 2 ตัวจับยึดชนิดนี้สามารถทดสอบในโหมดที่ 1 ได้โดยให้แรง F กระทำในตำแหน่ง $\phi = 0^\circ$ และสามารถทดสอบในโหมดที่ 2 ได้ โดยให้แรง F กระทำในตำแหน่ง $\phi = 90^\circ$



รูปที่ 2.32 วิธีจับยึดชิ้นงานทดสอบโหมดผสมระหว่างโหมดที่ 1 และ โหมดที่ 2

การสร้างรอยร้าวล้าเริ่มต้น (fatigue precracking) หมายถึง การสร้างรอยร้าวที่ปลายรอยบาก รูปที่ 2.33 ด้วยภาระล้า (fatigue load) ขั้นตอนนี้มีความสำคัญและหลีกเลี่ยงไม่ได้ เพราะรอยบากจากวิธีทางกล เช่น การตัดด้วยลวด (wire cut) วิธี EDM (Electrical discharge machining) จะมีรัศมีความโค้งที่ปลายมากเกินกว่าจะถือว่าไม่พบเหตุการณ์การเสียรูปบริเวณรอยบากเหมือนกับที่เกิดบริเวณ

ปลายรอยร้าว สาเหตุที่ต้องใช้ภาระล้า เพื่อสามารถทำให้รอยร้าวเกิดการเติบโตได้โดยไม่จำเป็นต้องใช้ภาระที่สูงจนทำให้เกิดบริเวณครากขนาดใหญ่ที่ปลายรอยร้าว รอยร้าวที่ได้จึงมีปลายแหลม สอดคล้องกับรอยร้าวทางทฤษฎี [2]



รูปที่ 2.33 การสร้างรอยร้าวล้าเริ่มต้น

2.4 สมบัติเชิงกลจากการทดสอบแรงดึง

คุณสมบัติเชิงกลของโลหะเป็นสิ่งสำคัญเฉพาะของวัสดุแต่ละชนิด สำหรับวิศวกรในการออกแบบเลือกใช้ให้เหมาะสม เช่น การยึดตัวหรือหดตัวของโครงสร้างภายในวัสดุ ซึ่งมีปัจจัยต่างๆ

2.4.1 ความเค้นและความเครียด (Stress and strain)

ในการทดสอบที่ได้ผลจากทุกๆขนาด มีผลถึงความเป็นสัดส่วนของขนาดชิ้นทดสอบที่มีพื้นที่หน้าตัดขวางกับแรงที่กระทำต่อวัสดุ เกิดเป็นรูปแบบความเค้นและความเครียดทางวิศวกรรมที่ ถูกกำหนดโดยสมการต่อไปนี้

$$\text{Engineering stress} = S = \frac{F}{A_0} \quad (2.10)$$

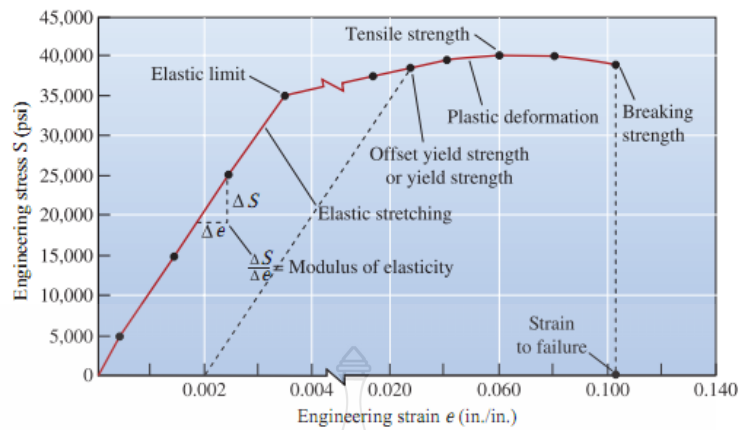
$$\text{Engineering strain} = e = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2.11)$$

โดยที่ A_0 เป็นพื้นที่หน้าตัดขวางของชิ้นงานก่อนเริ่มการทดสอบ

l_0 เป็นระยะห่างตามมาตรฐาน

Δl เป็นความยาวที่เปลี่ยนไปหลังการใช้แรงทดสอบ

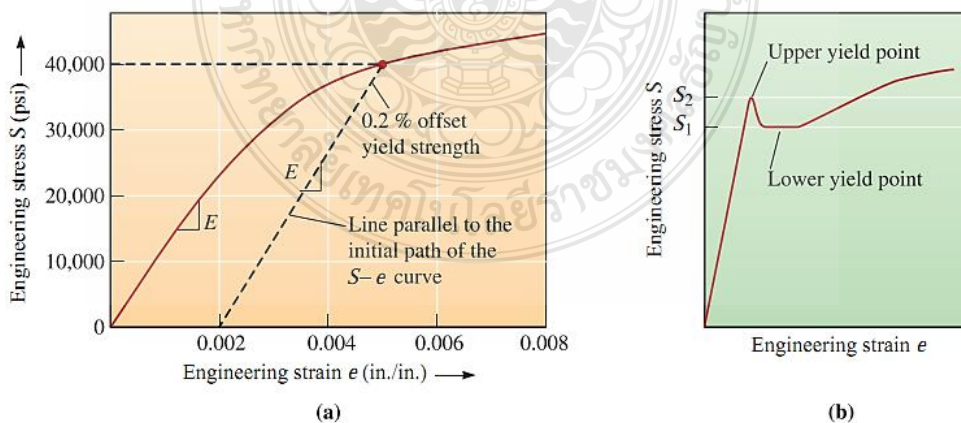
เส้นกราฟความเครียด-ความเค้น ดังรูปที่ 2.34 ใช้เพื่อบันทึกแสดงผลการทดสอบแรงดึง [14]



รูปที่ 2.34 เส้นโค้งความเค้น-ความเครียด ของวัสดุอัลลอยด์อะลูมิเนียม

2.4.2 ความแข็งแรงคราก (Yield Strength)

เมื่อมีแรงกระทำต่อวัสดุ จะทำให้วัสดุเกิดความเค้นซึ่งวัสดุจะเกิดการเปลี่ยนรูปร่างไปถ้าความเค้นชั่วคราวออกวัสดุจะกลับคืนรูปเดิม เป็นลักษณะที่เรียกว่าการเปลี่ยนแปลงรูปร่างชั่วคราวหรือแบบยืดหยุ่น (Elastic deformation) ถ้าเพิ่มความเค้นอย่างต่อเนื่องจนถึงจุดหนึ่งแล้วปล่อยแรงกระทำแล้ววัสดุไม่สามารถกลับคืนรูปดั้งเดิมได้ จะเรียกว่า การเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบถาวร (Plastic deformation) โดยมีจุดวิกฤติเป็นจุดบ่งชี้การเปลี่ยนรูปถาวร จะเรียกว่า จุดยิวล์ (Yield point) รูปที่ 2.35 ช่วงการเกิดของแรงจนถึงจุดยิวล์ เรียกว่า ขีดจำกัดความยืดหยุ่น (Elastic limit) ความสัมพันธ์ความเค้นความเครียดยังคงเป็นเส้นตรงอยู่ แต่หากให้แรงกระทำเกิดค่าจุดยิวล์ นี้วัสดุจะ



รูปที่ 2.35 (a) กราฟช่วงความแข็งแรงจุดยิวล์ ออฟเซต 0.2% ของวัสดุเหล็กหล่อสีเทา

(b) ช่วงพฤติกรรมของจุดยิวล์บน และจุดยิวล์ล่างในเหล็กกล้าคาร์บอน

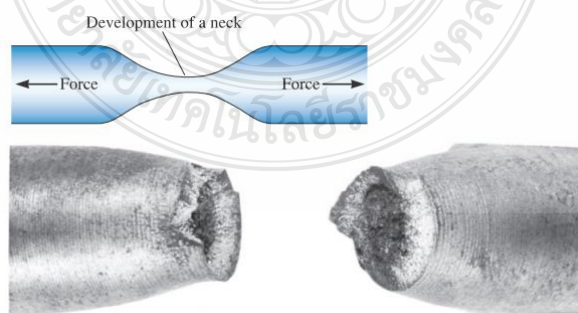
เปลี่ยนรูปร่างแบบถาวรซึ่งเป็นผลให้เกิดความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดที่ไม่เป็นเส้นตรง เมื่อวัสดุถูกแรงกระทำผ่านจุดยิวล์ไปแล้ว จะเรียกว่า ชิดจำกัดสัดส่วน (Proportional limit) วัสดุจะมีค่าชิดจำกัดความยืดหยุ่นและชิดจำกัดสัดส่วนที่ต่อเนื่องกันที่อาจทำให้ไม่สามารถหาค่าที่ชัดเจนได้ชัดเจน [16]

ดังนั้นจึงขึ้นอยู่กับเครื่องมือทดสอบที่มีความสามารถวัดค่าชิดจำกัดทั้งสองได้ โดยใช้วิธีหาค่าความเครียดออฟเซต (Offset strain value) ที่ค่าความเครียด 0.002 หรือ 0.2% ที่ลากเป็นเส้นปะขนานไปเป็จุดตัด และจุดตัดที่เกิดขึ้นเป็นค่าความแข็งแรงที่จุดยิวล์ออฟเซต (Offset yield strength) ของเหล็กหล่อสีเทามีค่าเท่ากับ 40,000 psi ดังนั้นวิศวกรจึงต้องเลือกวัสดุโดยนำค่าความแข็งแรงที่จุดยิวล์ ที่อุณหภูมิห้องมาใช้ในงานการออกแบบ โดยวัสดุที่นำมาใช้งานควรมีความเค้นกระทำน้อยกว่าค่าความแข็งแรงจุดยิวล์

2.4.3 ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)

ความแข็งแรงดึงเป็นค่าความเค้นสูงสุด (Tensile Strength) ของกราฟค่าความเค้นและความเครียด ในทางวิศวกรรมวัสดุที่มีความเหนียวหลายชนิดเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างด้วยลักษณะการลดพื้นที่หน้าตัดลงเป็นช่วงคอคอด ดังรูปที่ 2.36 ทำให้แรงกระทำลดลงเป็นผลให้ค่าความเค้นลดลงตาม จากความสัมพันธ์ของพื้นที่หน้าตัด (A_n) ที่ลดลง ความแข็งแรงดึงเป็นความเค้นที่วัสดุเริ่มเกิดคอคอดขึ้นของวัสดุที่มีความเหนียว ซึ่งเกิดกับวัสดุโลหะเหนียวหรือวัสดุพอลิเมอร์ที่ได้รับแรงดึง

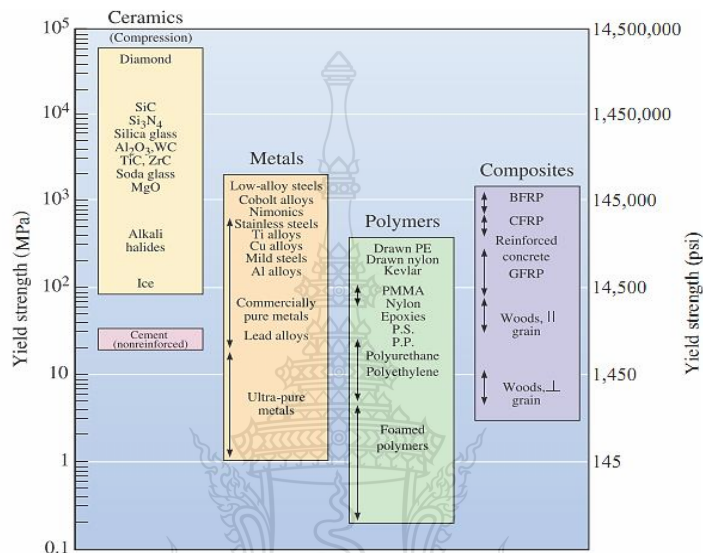
แต่ลักษณะการเกิดคอคอดจะไม่เกิดขึ้นกับชนิดแรงอัดแบบการโก่งตัว แสดงค่าความแข็งแรงที่จุดยิวล์ของวัสดุวิศวกรรมต่างๆ ค่าความแข็งแรงของโลหะบริสุทธิ์มีค่าต่ำ เช่น โลหะบริสุทธิ์พิเศษ (Ultra-pure metals) มีค่าความแข็งแรงประมาณ 1-10 MPa โดยที่วัสดุอัลลอยล์มีค่าความแข็งแรงที่จุดยิวล์สูง ค่าความแข็งแรงของพลาสติกและอีลาสโตเมอร์มีค่าน้อยกว่าของวัสดุ



รูปที่ 2.36 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุทดสอบแรงดึงจนเกิดเป็นคอคอด

ภาพบน : การเกิดคอคอด ภาพล่าง : วัสดุทดสอบถูกดึงจนแตกร้าว

โลหะ โดยวัสดุอะลูมิเนียมมีค่าในช่วงประมาณ 10-100 MPa ค่าความแข็งแรงที่จุดยืลของวัสดุเซรามิกไม่สามารถได้จากการทดสอบแรงดึงได้แต่หาได้จากการทดสอบแรงกดอัด (Compressive test) หากใช้วิธีการทดสอบแรงดึงกับวัสดุเซรามิกจะมีค่าต่ำมาก 100-200 MPa ขณะที่ความแข็งแรงดึงของวัสดุแก้ว มีค่าประมาณ 70 MPa และขึ้นอยู่กับคุณภาพผิวเป็นหลัก



รูปที่ 2.37 ค่าความแข็งแรงจุดครากของวัสดุวิศวกรรมชนิดต่างๆ [16]

2.4.4 สมบัติความยืดหยุ่น (Yong's modulus)

โมดูลัสความยืดหยุ่นหรือโมดูลัสของยัง (Young's modulus : E) [14] เป็นค่าระดับความแข็งแรงของวัสดุ ที่หาค่าได้จากค่าลิมิตของอัตราการเปลี่ยนแปลงของความเค้น (Stress) ต่อความเครียด (Strain) ที่ค่าความเค้นน้อย สามารถหาจากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดที่ทดลองดึงในช่วงยืดหยุ่น ซึ่งแสดงเป็นสมการตามกฎของฮุก (Hooke's Law) ดังนี้

$$E = \frac{S}{e} \quad (2.12)$$

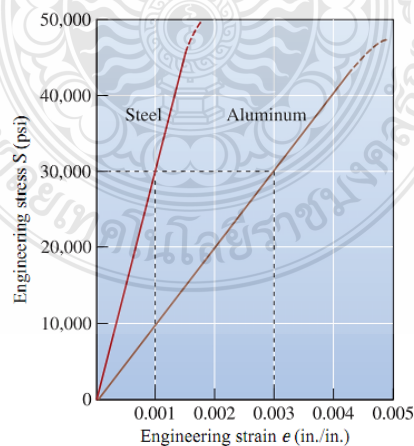
ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเป็นคุณสมบัติความสามารถของวัสดุที่กลับคืนรูปเดิม สำหรับโลหะ ค่าความเปลี่ยนแปลงยืดหยุ่นสูงสุด (Maximum elastic deformation) จะมีค่าน้อยกว่า 0.5% โดยทั่วไป ซึ่งมีค่าความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าแรงยืดเหนี่ยวระหว่างอะตอม วัสดุที่มีแรงยืดเหนี่ยวระหว่าง

อะตอมสูงมักมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและจุดหลอมเหลวสูง ดังตารางที่ 2.2 แสดงค่าคุณสมบัติความยืดหยุ่นและอุณหภูมิหลอมละลายของวัสดุค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเป็นตัวบ่งบอกถึงความแข็งแกร่ง (Stiffness) ของวัสดุวัสดุแข็งที่มีค่าโมดูลัส

ตารางที่ 2.2 สมบัติยืดหยุ่นและอุณหภูมิหลอมละลาย (T_m) ของวัสดุ

Material	$T_m(^{\circ}\text{C})$	E (psi)	Poisson's ratio (ν)
Pb	327	2.0×10^6	0.45
Mg	650	6.5×10^6	0.29
Al	660	10.0×10^6	0.33
Cu	1085	18.1×10^6	0.36
Fe	1538	30.0×10^6	0.27
W	3410	59.2×10^6	0.28
Al_2O_3	2020	55.0×10^6	0.26
Si_3N_4		44.0×10^6	0.24

ยืดหยุ่นสูงจะเปลี่ยนแปลงขนาดรูปร่างได้น้อยกว่าเมื่ออยู่ภายใต้ภาวะแรงกระทำ ถ้าให้แรงกระทำน้อยจะทำให้วัสดุเปลี่ยนแปลงรูปร่างเพียงชั่วคราวเท่านั้น จากรูปที่ 2.38 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบแรงดึงเหล็กกับอะลูมิเนียมที่แรงกระทำ 30,000 psi ที่วัสดุถูกดึงอยู่ในช่วงยืดหยุ่นทั้งสองวัสดุทำให้เหล็กกล้าเกิดความเครียด 0.001 นิ้ว/นิ้ว ในขณะที่วัสดุอะลูมิเนียมจะเกิดความเครียดที่ 0.003 นิ้ว/นิ้ว ทำให้เห็นว่าเหล็กกล้ามีความแข็งแกร่งกว่าอะลูมิเนียม [16]



รูปที่ 2.38 การเปรียบเทียบพฤติกรรมยืดหยุ่นของเหล็กและอะลูมิเนียมที่ความเครียดของอะลูมิเนียมทำให้เกิดความยืดหยุ่นขึ้นสามเท่าของเหล็ก

บทที่ 3

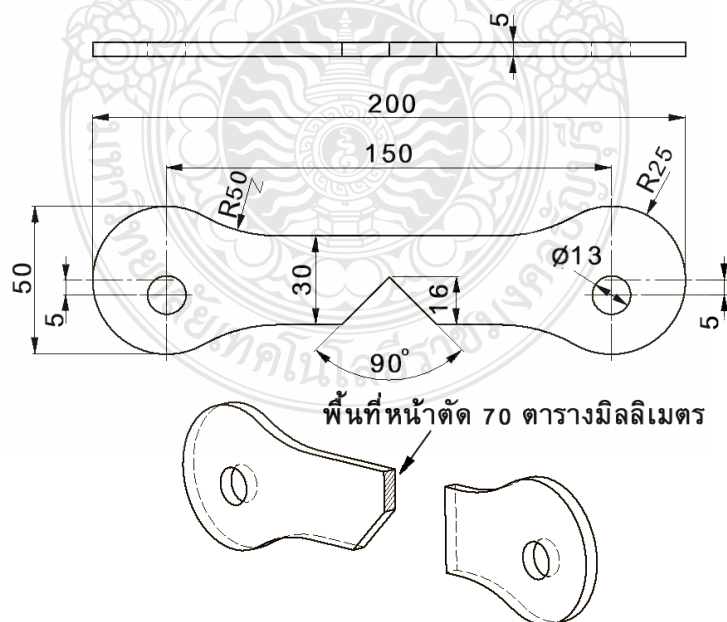
ขั้นตอนการดำเนินงาน

การทดลอง การศึกษารูปแบบสัญญาณอะคูสติกที่เกิดขึ้นในกระบวนการแตกหักของวัสดุมีการวางแผนการทดลอง และการดำเนินงานที่เป็นไปตามกระบวนการทดลองอย่างดี เพื่อให้การทดลองเกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด ดังนั้นในการทดลองจะแสดงขั้นตอนการทดลองตั้งแต่การศึกษาข้อมูล การกำหนดขั้นตอนการทดลอง และเก็บข้อมูลการทดลอง ดังจะกล่าวในแผนการทดลอง

3.1 เตรียมชิ้นงานทดสอบ

3.1.1 ขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ

ในงานทดลองได้แบ่งวัสดุเป็น 4 ชนิด ดังนี้ เหล็กกล้า S45C , เหล็กกล้า SCM440 , อะลูมิเนียม 5083-H112 และพลาสติก High Density polyethylene (HDPE) ชิ้นทดสอบมีการบากเป็นมุมลิ้ม 90 องศา มีพื้นที่หน้าตัด 70 ตารางมิลลิเมตร เพื่อเป็นการกำหนดให้การแตกร้าวเริ่มเกิดขึ้นที่มุมลิ้ม และตำแหน่งแรงดึงของชิ้นงานจะเชื่อมศูนย์กลางกับมุมลิ้ม 5 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.1 เพื่อให้การออกแรงดึงเป็นไปในรูปแบบการถักขาดของตัววัสดุ ในการจัดทำชิ้นงานทดสอบใช้วิธีการแมชชีนขึ้นรูปด้วย



รูปที่ 3.1 ขนาดชิ้นงานตัดขึ้นรูปด้วยเครื่องซีเอ็นซีมิลลิ่ง

เครื่องซีเอ็นซีมิลลิ่ง รุ่น EMCO Concept mill 260 เพื่อให้ชิ้นงานมีขนาดรูปร่างที่เท่ากัน โดยจัดทำชิ้นงานจำนวนห้าชิ้นต่อวัสดุหนึ่งชนิด ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 เครื่องมิลลิ่งสำหรับขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ

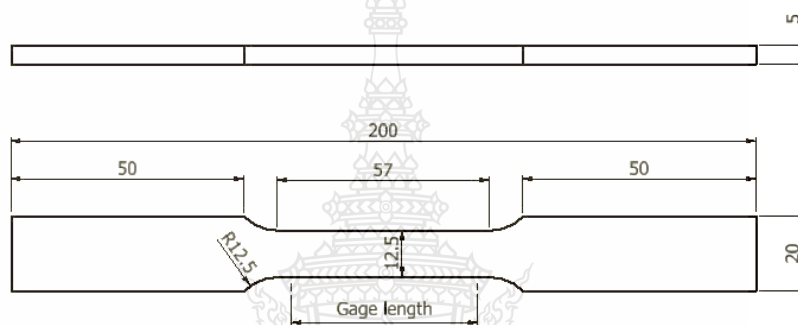
และในการติดตั้งทดสอบชิ้นงานจำเป็นต้องทำขึ้นส่วนสำหรับจับยึดปลายชิ้นงานทั้งสองข้าง โดยมีรูปแบบ ดังรูปที่ 3.3 เพื่อให้แรงดึงทั้งสองทางสมดุลกัน และตำแหน่งหัวเซนเซอร์จะติดตั้งใกล้กับมุมลิ้มในการทดสอบ



รูปที่ 3.3 ชิ้นส่วนจับยึดชิ้นงานทดสอบ

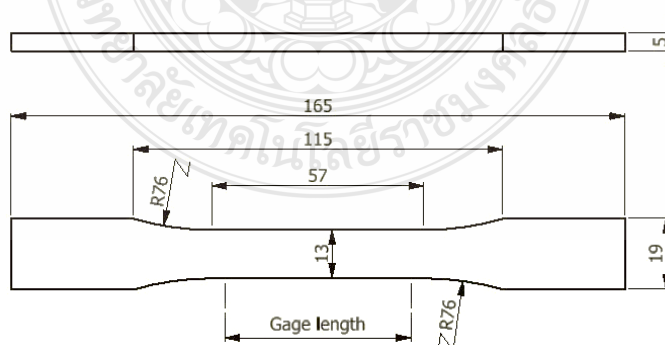
3.1.2 การทดสอบค่าแรงดึงวัสดุ

ในงานวิจัยมีวัสดุสามชนิด คือ วัสดุเหล็กกล้า วัสดุอะลูมิเนียม และวัสดุพลาสติก จัดทำชิ้นงานทดสอบแรงดึงจึงแยกการทดสอบแรงดึงเป็นสองรูปแบบ คือ ตามมาตรฐาน ASTM E-8-M [22] และมาตรฐาน ASTM D638-02a [23] โดยวัสดุเหล็กกล้า S45C, เหล็กกล้า SCM440, และอะลูมิเนียม 5083-H112 ใช้มาตรฐาน ASTM E-8-M สำหรับทำชิ้นงานทดสอบตามขนาด ดังรูปที่ 3.4 และทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง รุ่น GT-7001-LAC50 พร้อมบันทึกค่าแรงดึงอัลติเมทสูงสุด (Ultimate tensile strength) เพื่อใช้วิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ถึงสภาพความเสียหายขณะรับแรง



รูปที่ 3.4 ขนาดชิ้นงานทดสอบแรงดึง เหล็กกล้า S45C, เหล็กกล้า SCM440, อะลูมิเนียม 5083-H112

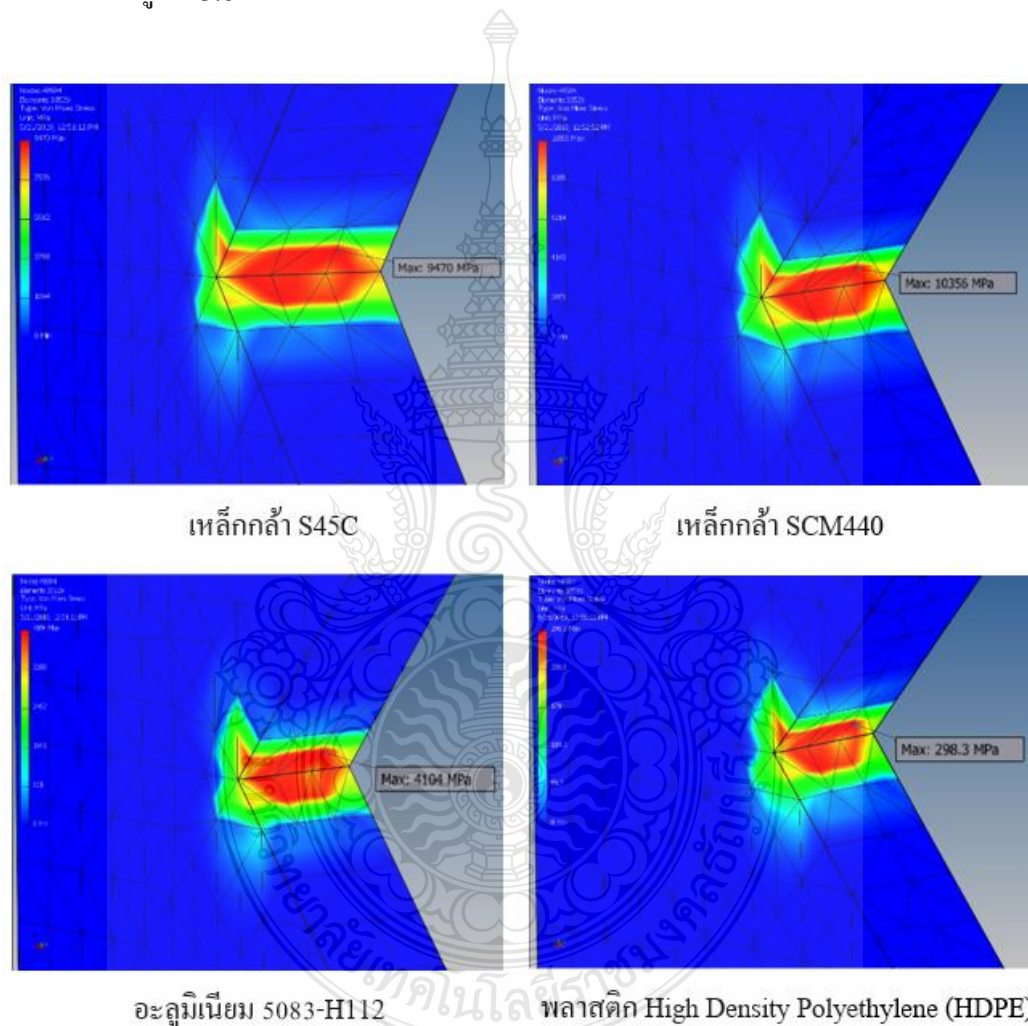
และวัสดุพลาสติก High Density Polyethylene (HDPE) ใช้ตามมาตรฐาน ASTM D638-02a จัดทำชิ้นงานทดสอบตามขนาด ดังรูปที่ 3.5 ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (Flexural testing machine รุ่น H50KS พร้อมบันทึกข้อมูล เพื่อใช้วิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ถึงสภาพความเสียหายขณะรับแรง



รูปที่ 3.5 ขนาดชิ้นงานทดสอบแรงดึงสำหรับวัสดุพลาสติก HDPE

3.1.3 ออกแบบโมเดลวิเคราะห์จุดเกิดการแตกหัก

ในการวิจัยได้สร้างโมเดลจำลองขึ้นมาเพื่อวิเคราะห์เบื้องต้นของการเกิดจุดวิกฤติของการแตกหักชิ้นงานที่ทดลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ในโปรแกรม Autodesk Inventor 2018 เพื่อดูรูปแบบความเสียหายหรือความเค้นที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน โดยใช้ค่าอัลติเมตสูงสุด (Ultimate tensile strength) จากการทดสอบหาค่าแรงดึงของวัสดุแต่ละชนิด มาเป็นค่าแรงดึงทดสอบในโมเดล ได้ผลการวิเคราะห์ดัง รูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ผลการวิเคราะห์โมเดลด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (ภาคผนวก จ) แสดงให้เห็นจุดกำเนิดความเสียหายและค่าความเคียด (Von Mises Stress) ที่เกิดขึ้นและค่าแรงกระทำที่มีผลต่อโครงสร้างวัสดุที่ได้จำลองการทดสอบจะเกิดขึ้นที่ส่วนกลางความหนาของวัสดุ

3.1.4 การทดสอบส่วนผสมแร่ธาตุของวัสดุ

การตรวจค่าส่วนผสมแร่ธาตุของวัสดุ รูปที่ 3.7 ได้เตรียมชิ้นงานวัสดุทั้ง 4 ชนิด แต่ละชนิดตัดขนาดประมาณ 15x15 มม. ทำการขัดผิวให้เรียบด้วยกระดาษทรายเบอร์ 80 และนำมาทดสอบวิเคราะห์ส่วนผสมแร่ธาตุด้วยเครื่อง Baird Spectrovac 1000 รูปที่ 3.8 และชิ้นงานพลาสติกพอลิเอทิลีน High density polyethylene (HDPE) ได้ตรวจหาปริมาณส่วนผสมธาตุและเคมี ด้วยเครื่อง Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) ดังรูปที่ 3.9 และบันทึกข้อมูล



รูปที่ 3.7 ชิ้นงานทดสอบหาปริมาณส่วนผสมแร่ธาตุของวัสดุ



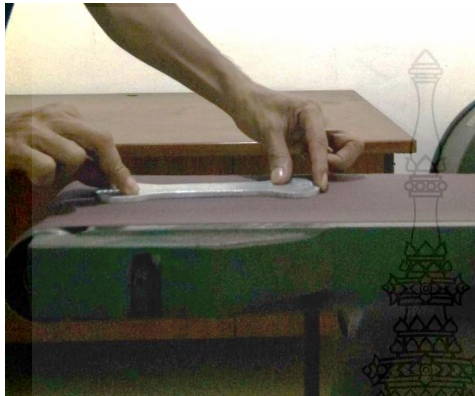
รูปที่ 3.8 เครื่องวิเคราะห์ธาตุและสารประกอบ Baird Spectrovac 1000



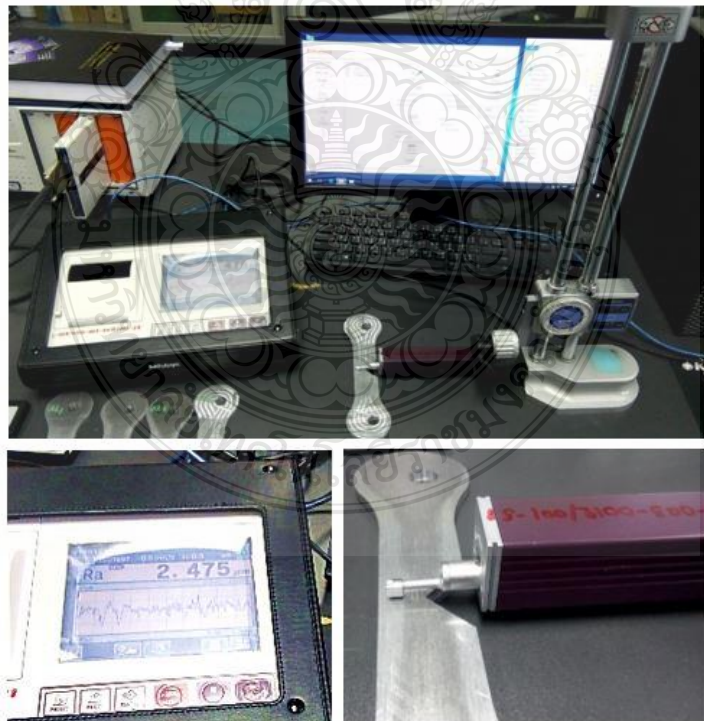
รูปที่ 3.9 เครื่องวิเคราะห์ธาตุและสารประกอบ Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)

3.1.5 ทดสอบความเรียบผิวชิ้นงาน

นำชิ้นงานขัดผิวให้เรียบ ด้วยเครื่องขัดกระดาษทรายสายพาน (กระดาษทรายเบอร์ 80) เพื่อขจัดรอยที่เกิดจากการแมชชีนขึ้นรูปออก ให้ผิวชิ้นงานมีค่าความเรียบไม่เกิน $Ra=2.5\mu m$ จากนั้นจึงนำมาทดสอบความเรียบผิวชิ้นงานด้วยเครื่องทดสอบความเรียบผิว (SurfTest SJ-310) รูปที่ 3.11



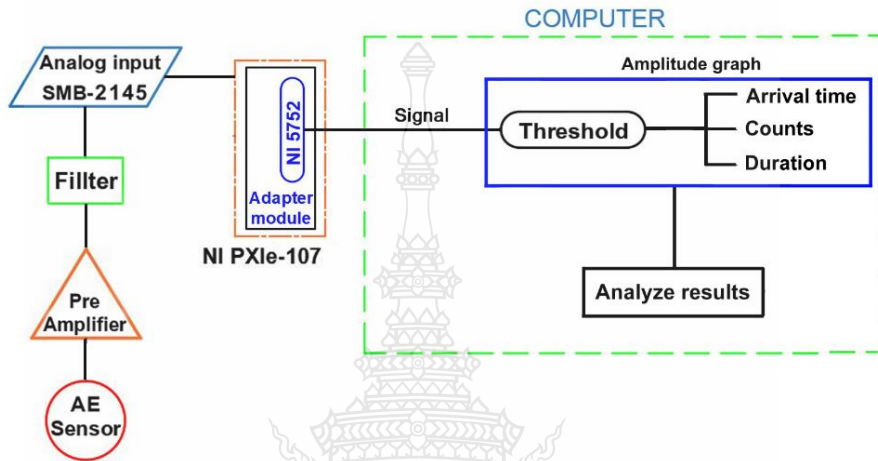
รูปที่ 3.10 ขัดผิวชิ้นงานด้วยเครื่องขัดกระดาษทรายสายพาน



รูปที่ 3.11 ทดสอบความเรียบผิวด้วยเครื่องทดสอบความเรียบผิว

3.2 การสร้างพารามิเตอร์และคาลิเบรชันหัวเซนเซอร์

การศึกษารูปแบบคลื่นสัญญาณการแตกหักของวัสดุ ใช้เครื่อง NI PXIe-1073 รูปที่ 3.12 เป็นเครื่องมือตรวจวัดคลื่นสัญญาณอะคูสติกส์ โดยมีแผนผังลำดับการตรวจวัดคลื่นสัญญาณอะคูสติกส์ ดังรูปที่ 3.13 ในการออกแบบสร้างอินเทอร์เน็ตเฟสและวงจรโคอะแกรมการวิเคราะห์สัญญาณอะคูสติกส์



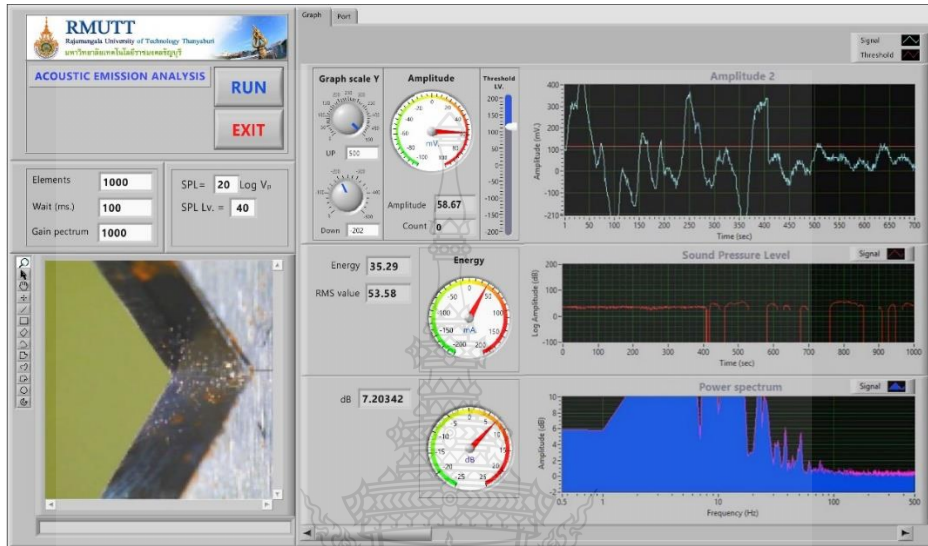
รูปที่ 3.12 แผนผังลำดับการตรวจวัดคลื่นสัญญาณอะคูสติกส์

การออกแบบสร้างอินเทอร์เน็ตเฟสและวงจรโคอะแกรมจะทำการคาลิเบรชันสัญญาณไปพร้อมๆกัน เพื่อหาระดับสเกลของสัญญาณแอมพลิจูดที่เหมาะสมในการใช้วัดสัญญาณวัสดุแต่ละชนิด ด้วยวิธีการหักไส้ดินสอด (HB ขนาด 0.5 มม.) [24] พร้อมบันทึกค่าระดับสัญญาณที่ได้สำหรับตั้งค่าระดับสเกลในการทดลองจริง

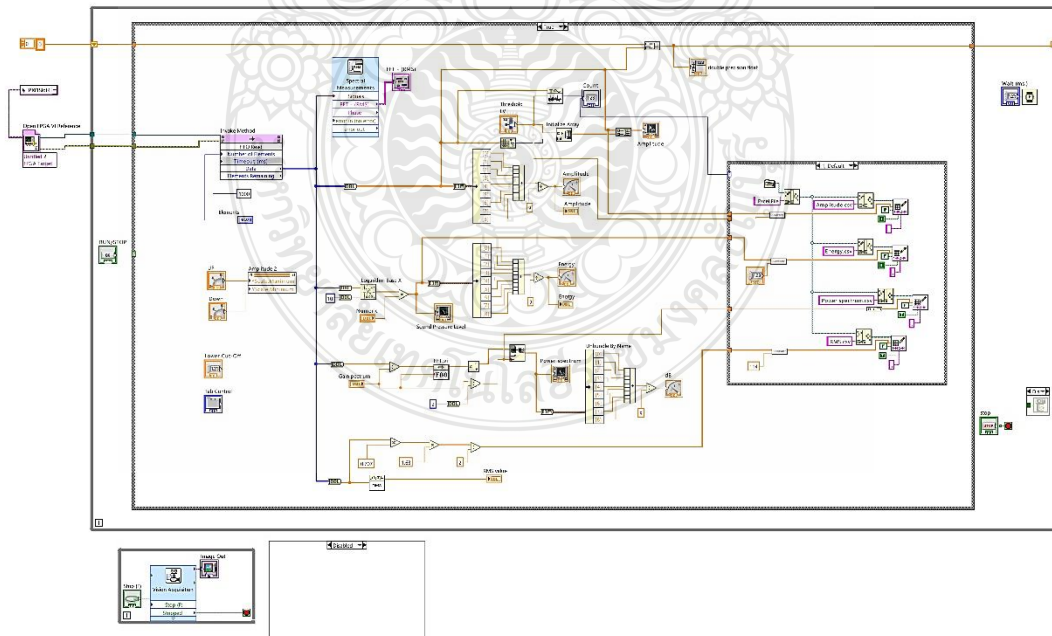


รูปที่ 3.13 เครื่อง NI PXIe-1073 ทำการคาลิเบรชันชิ้นงานหาระดับค่าสัญญาณแอมพลิจูด

สร้างเป็นโปรแกรมวิเคราะห์สัญญาณอะคูสติกส์อิมิชชัน โดยมีรูปแบบฟอร์มหน้าแสดง ดังรูปที่ 3.14 และวางรบบล็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ 3.15 โดยใช้โปรแกรมแลปวิว (Labview) ออกแบบสร้างเป็นโปรแกรมแสดงผลและเก็บค่าข้อมูลนามาวิเคราะห์รูปแบบสัญญาณอะคูสติกส์อิมิชชัน



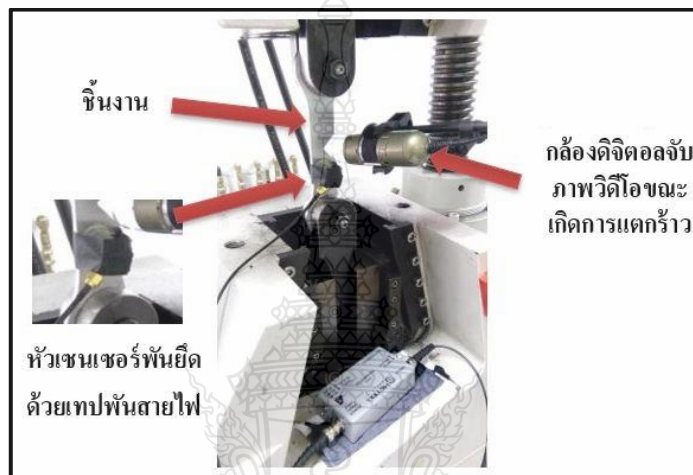
รูปที่ 3.14 ฟอร์มหน้าแสดงผลค่าพารามิเตอร์สัญญาณอะคูสติกส์



รูปที่ 3.15 บล็อกไดอะแกรมการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์สัญญาณอะคูสติกส์

3.3 การทดลองตั้งขึ้นงานตรวจวัดคลื่นสัญญาณอะคูสติกส์

ทำการติดตั้งขึ้นงานทดลองบนเครื่องทดสอบแรงดึง รุ่น GT-7001 LAC50 พร้อมกับติดตั้งหัวเซนเซอร์สำหรับตรวจวัดสัญญาณอะคูสติกส์อิมิชันบนผิวชิ้นงานที่เคลือบผิวด้วยสาร Couplant และยึดด้วยเทปพันสายไฟฟ้า พร้อมกับติดตั้งกล้องดิจิทัลสำหรับจับภาพให้เรียบร้อย ดังรูปที่ 3.16 และตรวจสอบอุปกรณ์ต่างๆให้พร้อม

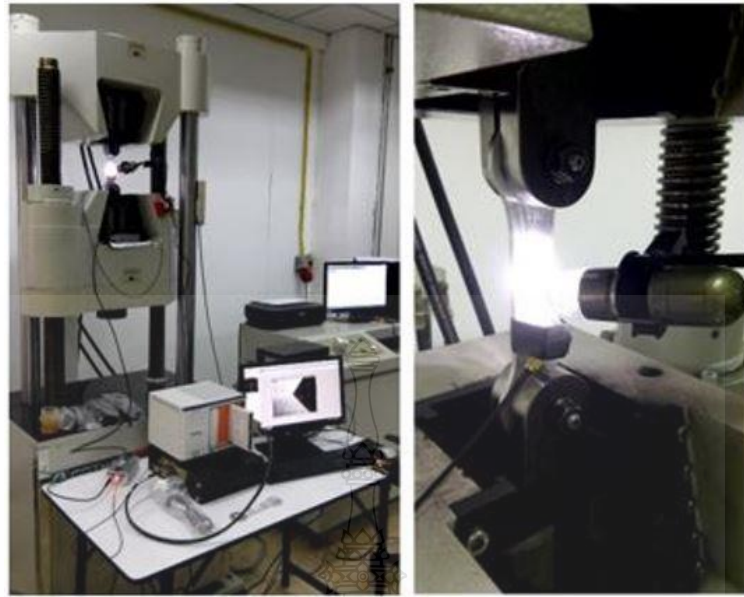


รูปที่ 3.16 การเตรียมขึ้นงานทดลองและอุปกรณ์การตรวจวัดสัญญาณอะคูสติกส์

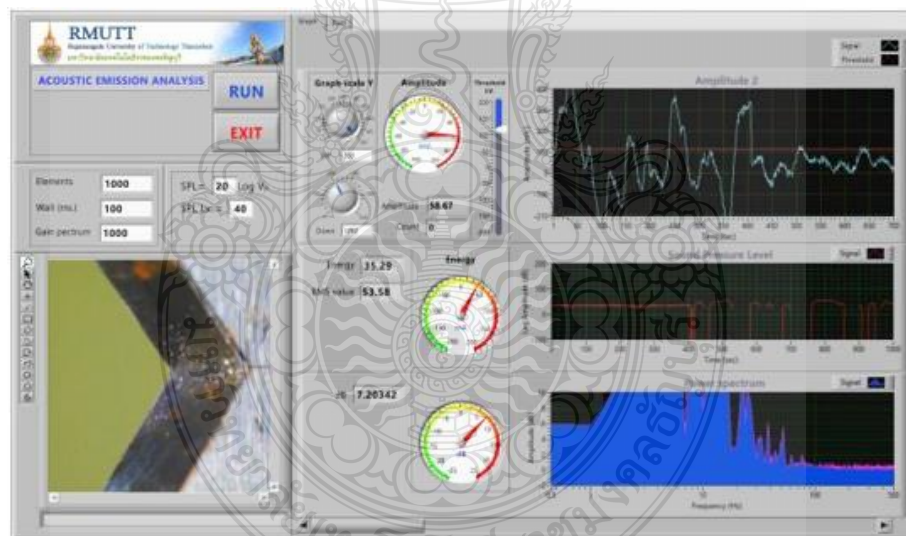
ในการทดลองจะเริ่มให้ค่าแรงดึงขึ้นงานอย่างช้าๆ เพื่อให้ชิ้นงานเกิดการแตกร้าจากมุมบาก 90 องศา พร้อมกับเก็บค่าสัญญาณเป็นตัวเลขด้วยโปรแกรมวิเคราะห์สัญญาณอะคูสติกส์อิมิชัน และนำผลลัพธ์ที่ได้ไปสร้างเป็นกราฟคลื่นสัญญาณแอมพลิจูด เพื่อวิเคราะห์รูปแบบสัญญาณแอมพลิจูดที่เกิดขึ้นตามชนิดวัสดุที่ได้ทดลอง ดังรูปที่ 3.17 โดยมีเงื่อนไขการทดลอง ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขการทดลอง

รายการ	ค่าเงื่อนไข
1. หัวเซนเซอร์ Wideband	F30A (150-750 kHz)
2. เกรน ฟรี-แอมพลิไฟเออร์ รุ่น 2/4/6	60 dB
3. ความเร็วดึงขึ้นงาน	5 มิลลิเมตรต่อนาที
4. เทรชโซลด์	115 mV.
5. เวลาการดึงขึ้นงาน	1 นาที



รูปที่ 3.17 การทดสอบชิ้นงานพร้อมตรวจวัดคลื่นสัญญาณอะคูสติกส์อิมิชชัน



รูปที่ 3.18 ผลแสดงการตรวจวัดคลื่นสัญญาณอะคูสติกส์อิมิชชันบน โปรแกรม

ในการทดลองตั้งและตรวจวัดค่าสัญญาณอะคูสติกส์ ใช้หัวเซนเซอร์ รุ่น F30A ชนิด Wideband ตอบสนองความถี่ต่ำในช่วง 150-750 kHz สามารถเก็บบันทึกค่าสัญญาณเป็นตัวเลขในรูปแบบไฟล์ Excel ได้ตามชนิดวัสดุที่ทดสอบ เหล็กกล้า S45C, เหล็กกล้า SCM440, อะลูมิเนียม 5083-H112, และพลาสติก High density polyethylene (HDPE)

3.4 อุปกรณ์-เครื่องมือในการทดลอง

การทดลองงานวิจัยนี้ได้รับการอนุเคราะห์ในเรื่องของ อุปกรณ์ – เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินการทดสอบต่างๆ จากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี โดยมีอุปกรณ์เครื่องมือ ดังนี้

- 3.4.1 เครื่องซีเอ็นซี मिलिंग รุ่น EMCO Concept Mill 260
- 3.4.2 เครื่องซีเอ็นซีเทิร์นนิ่ง รุ่น EMCO Concept Turn 260
- 3.4.3 เครื่องกลึง Harrison VS330TR
- 3.4.4 เครื่องวิเคราะห์ธาตุและสารประกอบ Baird Spectrovac 1000
- 3.4.5 เครื่องทดสอบแรงดึง Tensile Machine GT-7001-LAC50
- 3.4.6 เครื่องทดสอบแรงดึง Flexural Testing Machine รุ่น H50KS
- 3.4.7 เครื่องขัดกระดาษทราย
- 3.4.8 เครื่องทดสอบความเร็วผิว SurfTest SJ-310
- 3.4.9 เครื่องตรวจวิเคราะห์สัญญาณอะคูสติกส์อีมีชัน NI PXIe-1073
- 3.4.10 กล้องดิจิทัล Digital Microscope



บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการทดลอง

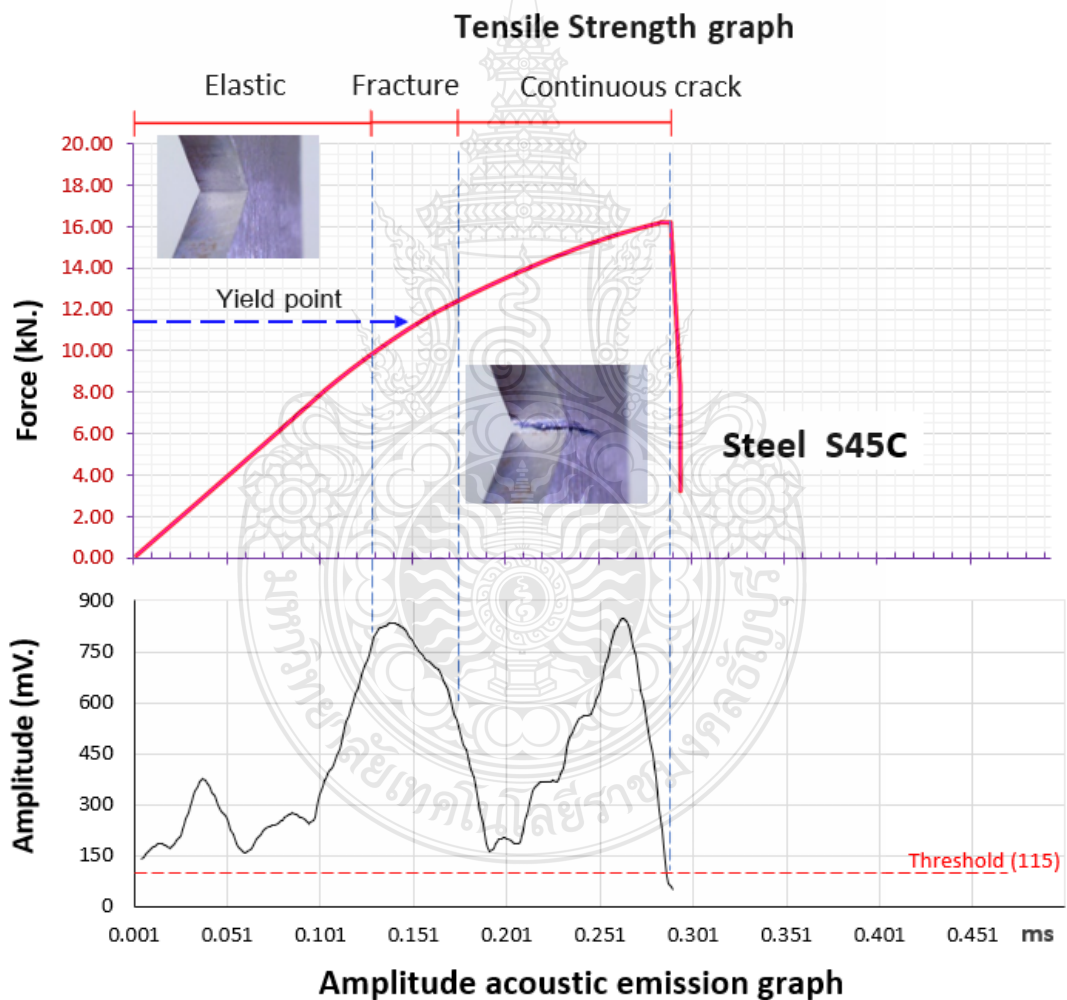
จากการดำเนินการทดสอบดึงชิ้นงานตรวจวัดคลื่นสัญญาณอะคูสติกส์อิมพัลส์ ในวัสดุ เหล็กกล้า S45C, เหล็กกล้า SCM440, อะลูมิเนียม 5083-H112 และ พลาสติก High density polyethylene (HDPE) ตามลำดับ และนำผลที่ได้แสดงเป็นกราฟค่าเฉลี่ยคลื่นสัญญาณแอมพลิจูดเพื่อเปรียบเทียบกับค่ากราฟทดสอบแรงดึงแสดงให้เห็นช่วงการเกิดสัญญาณแอมพลิจูดของการแตกร้าวของโครงสร้างจุลภาค เมื่อวัสดุเกิดความเค้นแรงดึงของวัสดุแต่ละชนิดที่ภายในโครงสร้างจุลภาค



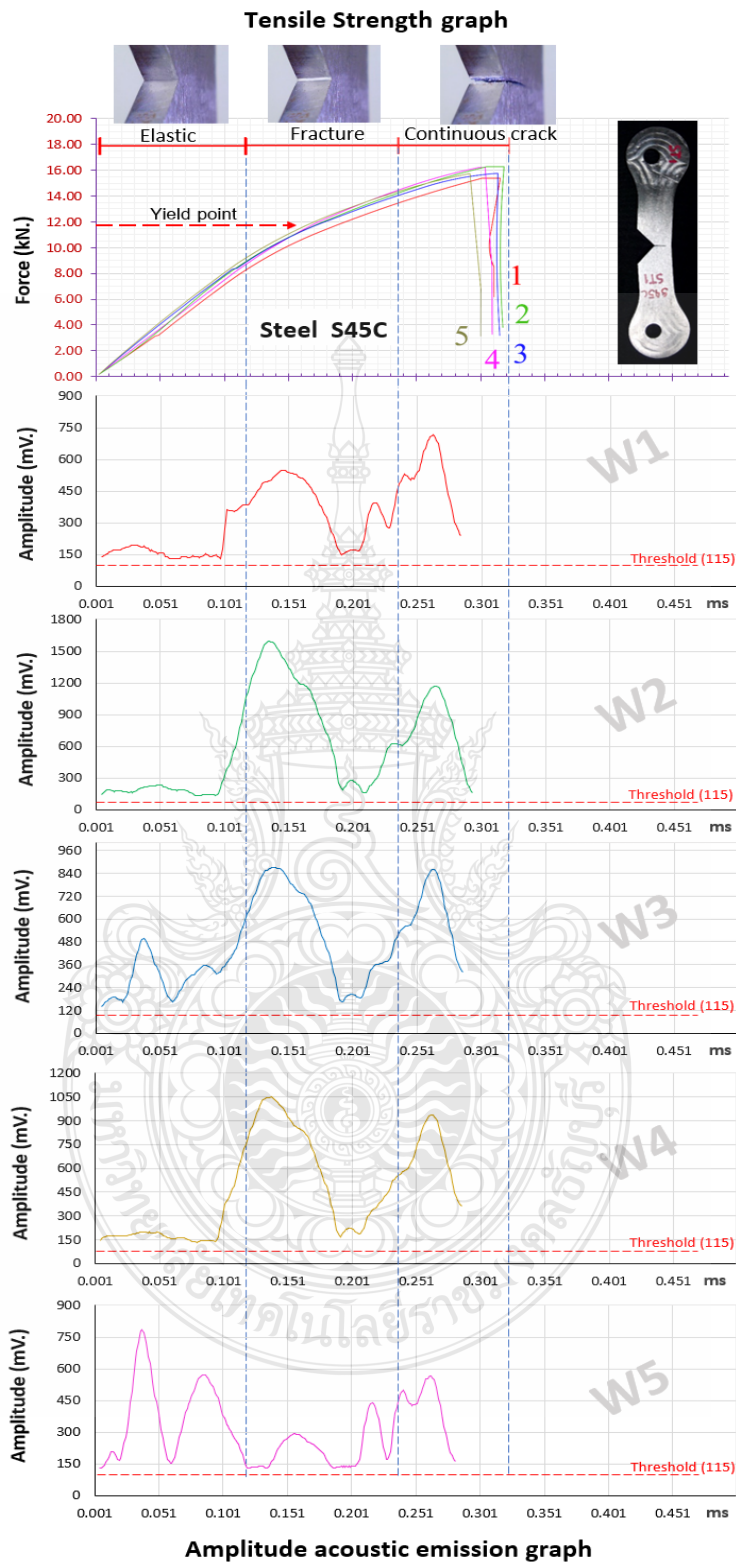
รูปที่ 4.1 การทดสอบดึงชิ้นงานตรวจวัดคลื่นสัญญาณอะคูสติกส์อิมพัลส์

4.1.1 ผลการตรวจวัดสัญญาณแอมพลิจูดวัสดุเหล็กกล้า S45C

จากกราฟความสัมพันธ์ค่าแรงดึงของชิ้นงานทดสอบแสดงให้เห็นระดับของสัญญาณแอมพลิจูดที่เกิดขึ้นจากการแตกร้าวภายใน โครงสร้างจุลภาคของวัสดุเหล็กกล้า S45C ทั้งห้าชิ้นงานทดสอบ ดังรูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลการตรวจวัดคลื่นสัญญาณแอมพลิจูด ที่เกิดจากความเค้นแรงดึง กระทำให้วัสดุเกิดความเครียดภายในโครงสร้าง จนกระทั่งถึงจุดยิวล์ (Yield point) ที่แรงดึง 11.72 kN. ทำให้โครงสร้างจุลภาคปลดปล่อยสัญญาณอะคูสติกส์อิมพัลส์ขึ้นที่ค่าแอมพลิจูดเหนือระดับเทรชโฮลด์ 115 ถึง 900 mV. ดังรูปที่ 4.2 กราฟค่าเฉลี่ยความเค้นแรงดึงเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยสัญญาณแอมพลิจูดชิ้นงานทดสอบและให้ค่าสูงสุดของสัญญาณเสียง เท่ากับ 62.26 dB ที่โซนแตกร้าว (Fracture)



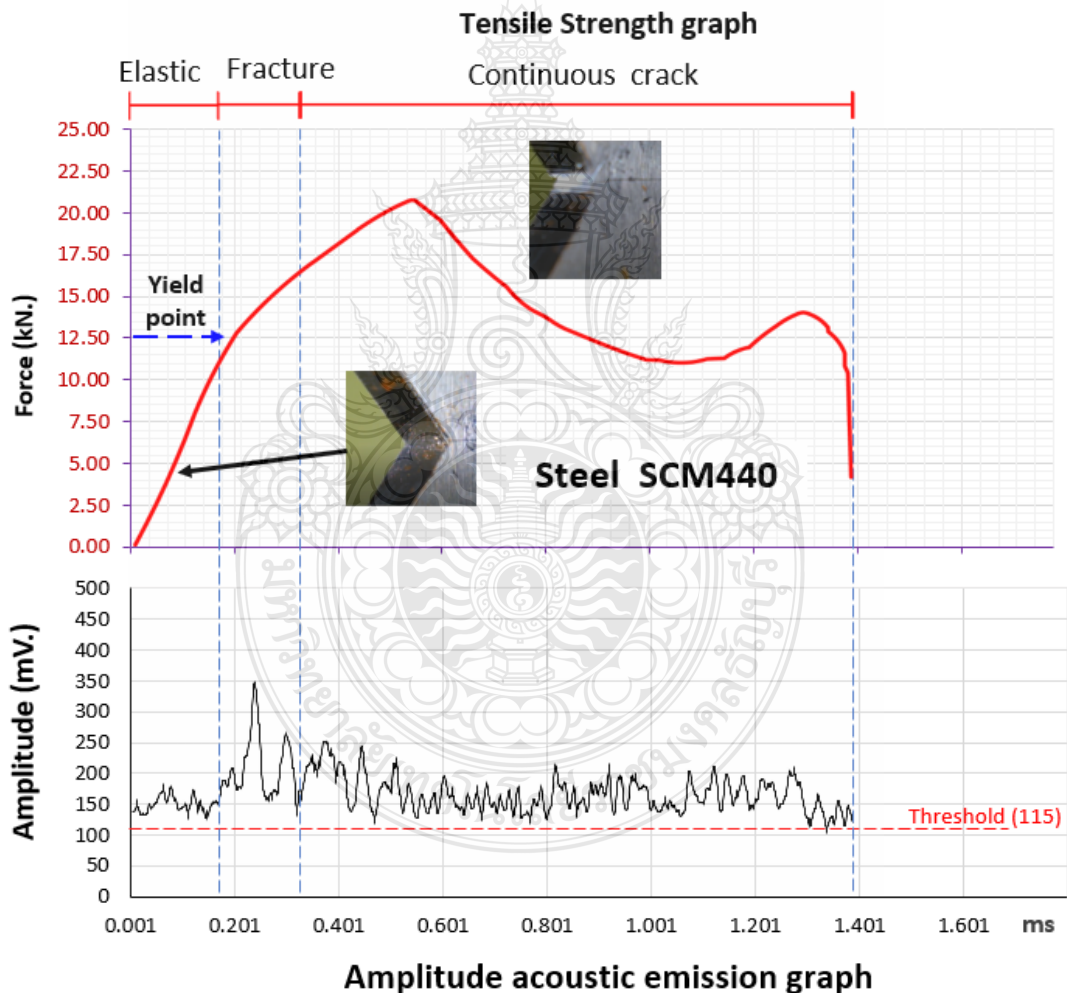
รูปที่ 4.2 กราฟค่าเฉลี่ยความเค้นแรงดึงเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยสัญญาณแอมพลิจูด



รูปที่ 4.3 ผลกราฟการตรวจวัดคลื่นสัญญาณแอมพลิจูดของวัสดุเหล็กกล้า S45C

4.1.2 ผลการตรวจวัดสัญญาณแอมพลิจูดวัสดุเหล็กกล้า SCM440

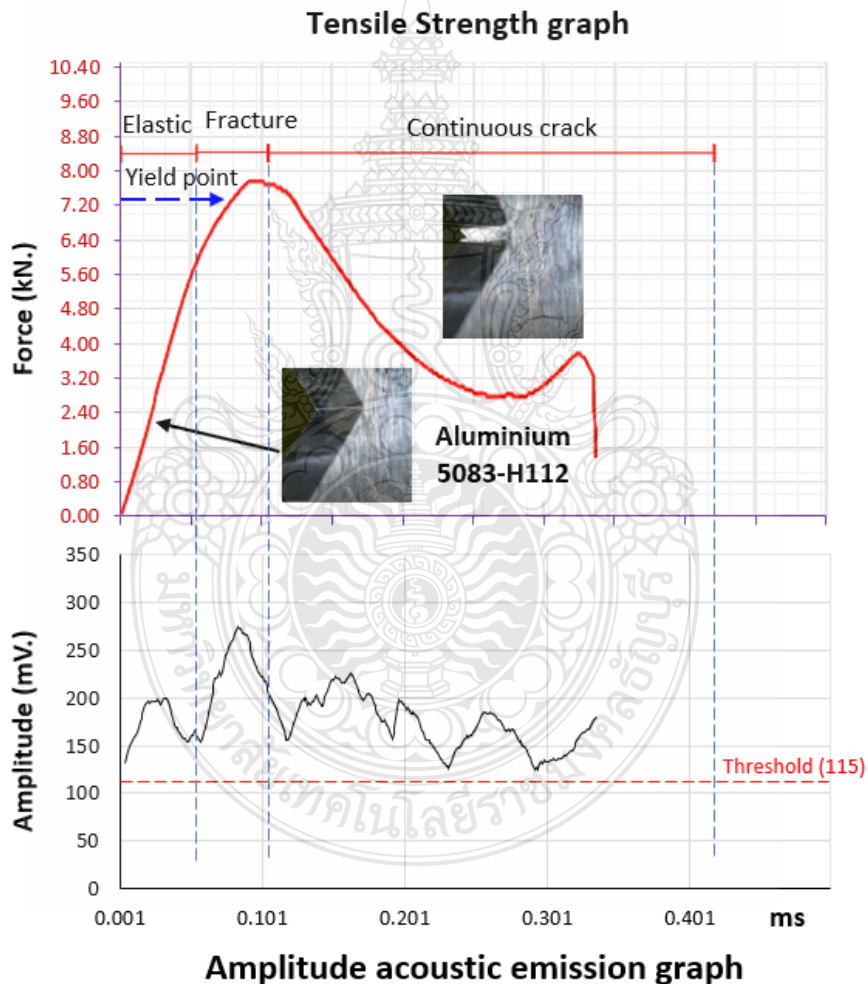
จากกราฟความสัมพันธ์ค่าแรงดึงของชิ้นงานทดสอบ แสดงค่าระดับของสัญญาณแอมพลิจูดที่เกิดขึ้นจากการแตกร้าวภายใน โครงสร้างจุลภาคของวัสดุเหล็กกล้า SCM440 ทั้งห้าชิ้นงานทดสอบ ดังรูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลการตรวจวัดคลื่นสัญญาณแอมพลิจูด ที่เกิดจากความเค้นแรงดึงกระทำให้วัสดุเกิดความเครียดภายใน โครงสร้าง จนกระทั่งถึงจุดยิวล์ (Yield point) ที่แรงดึง 12.61 kN. ทำให้โครงสร้างจุลภาคปลดปล่อยสัญญาณอะคูสติกส์อิมพัลส์ที่ให้อาอมพลิจูดเหนือระดับเทรชโฮลด์ 115 ถึง 500 mV. ดังรูปที่ 4.4 กราฟค่าเฉลี่ยความเค้นแรงดึงเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสัญญาณแอมพลิจูดชิ้นงานทดสอบและให้ค่าสูงสุดของสัญญาณเสียง เท่ากับ 50.32 dB ที่โซนแตกร้าว (Fracture)



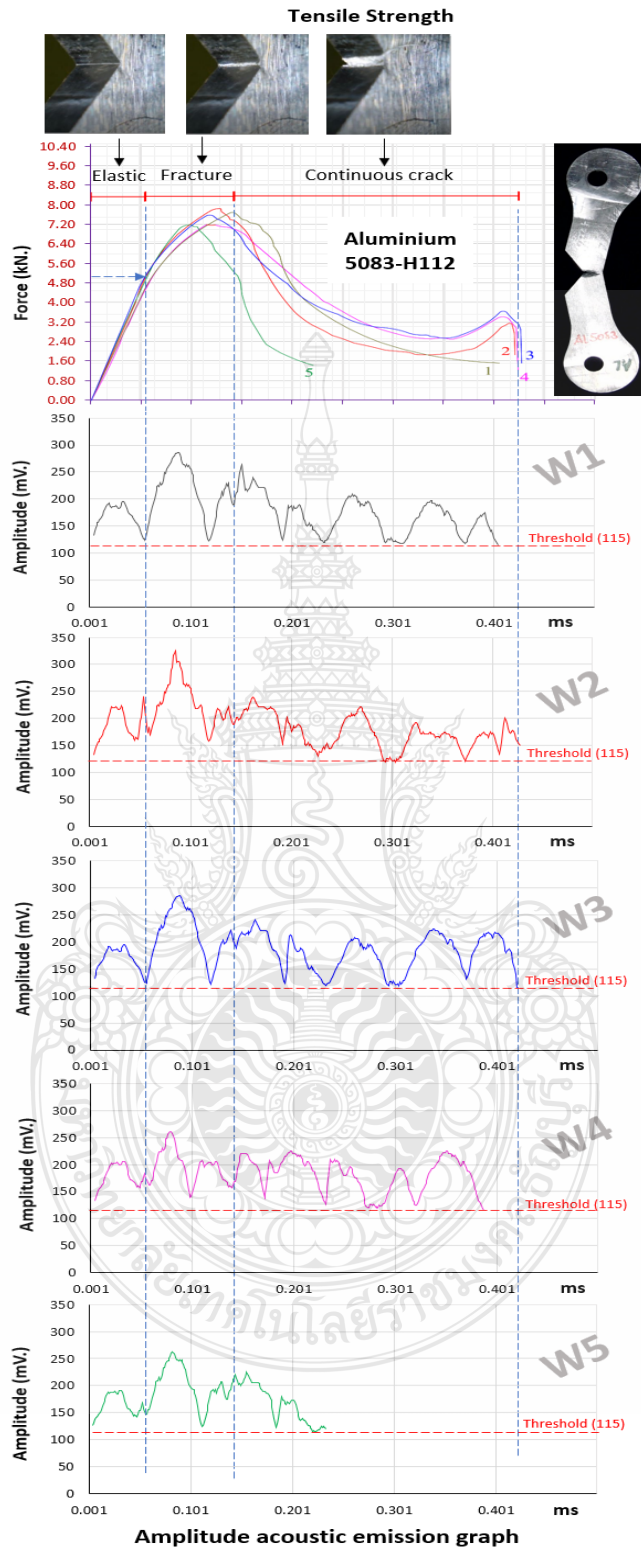
รูปที่ 4.4 กราฟค่าเฉลี่ยความเค้นแรงดึงเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสัญญาณแอมพลิจูด

4.1.3 ผลการตรวจวัดสัญญาณแอมพลิจูดวัสดุอะลูมิเนียม 5083-H112

จากกราฟความสัมพันธ์ค่าแรงดึงของชิ้นงานทดสอบ แสดงค่าระดับของสัญญาณแอมพลิจูดที่เกิดขึ้นจากการแตกร้าวภายใน โครงสร้างจุลภาคของวัสดุอะลูมิเนียม 5083-H112 ทั้งห้าชิ้นงานทดสอบ ดังรูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลการตรวจวัดคลื่นสัญญาณแอมพลิจูด ที่เกิดจากความเค้นแรงดึง กระทำให้วัสดุเกิดความเครียดภายในโครงสร้าง จนกระทั่งถึงจุดยิวล์ (Yield point) ที่แรงดึง 7.30 kN. ทำให้โครงสร้างจุลภาคปลดปล่อยสัญญาณอะคูสติกส์อีมีชันที่ให้ค่าแอมพลิจูดเหนือระดับเทรชโฮลด์ 115 ถึง 350 mV. ดังรูปที่ 4.6 กราฟค่าเฉลี่ยความเค้นแรงดึงเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยสัญญาณแอมพลิจูดชิ้นงานทดสอบและให้ค่าสูงสุดของสัญญาณเสียง เท่ากับ 20.24 dB ที่โซนแตกร้าว (Fracture)



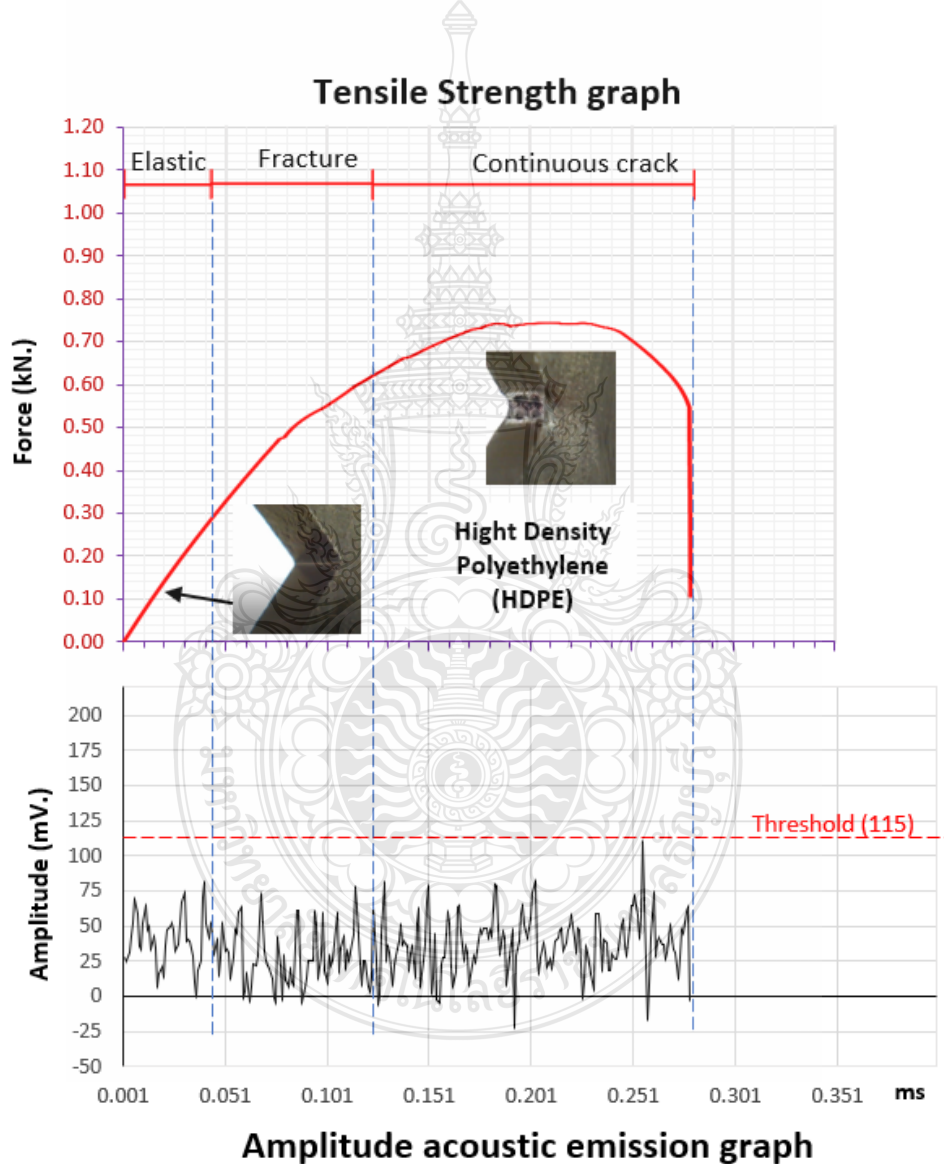
รูปที่ 4.6 กราฟค่าเฉลี่ยความเค้นแรงดึงเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยสัญญาณแอมพลิจูด



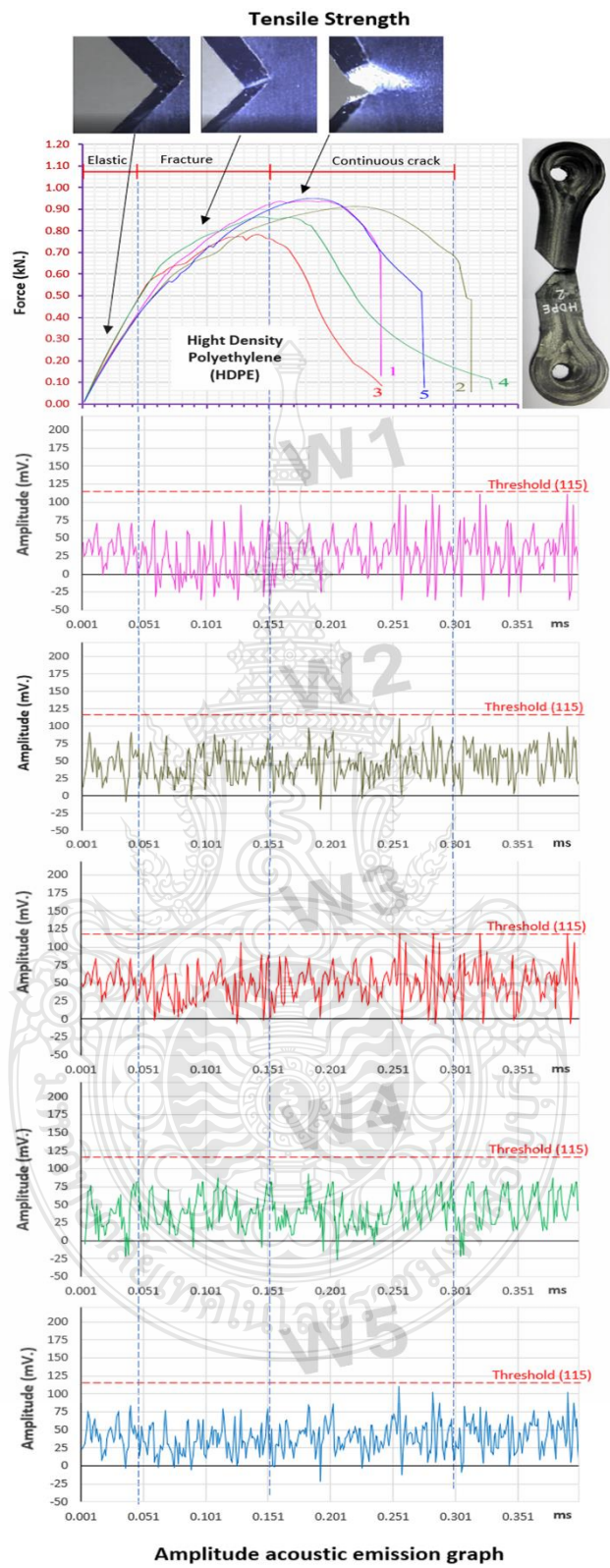
รูปที่ 4.7 ผลกราฟการตรวจวัดคลื่นสัญญาณแอมพลิจูดของวัสดุอะลูมิเนียม 5083-H112

4.1.4 ผลการตรวจวัดสัญญาณแอมพลิจูดวัสดุพลาสติก High Density Polyethylene

จากกราฟความสัมพันธ์ค่าแรงดึงของชิ้นงานทดสอบ แสดงค่าระดับของสัญญาณแอมพลิจูดที่เกิดขึ้นจากการแตกร้าวภายในโครงสร้างจุลภาคของวัสดุพลาสติก High Density Polyethylene ทั้งห้าชิ้นงานทดสอบ จากรูปที่ 4.9 กราฟแสดงผลการตรวจวัดคลื่นสัญญาณแอมพลิจูด ไม่พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเหนือเส้นเทรซโซลด์อย่างชัดเจนในการทดสอบชิ้นงานทั้งห้าชิ้น นำค่าแสดงเป็นกราฟค่าเฉลี่ยความเค้นแรงดึงเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสัญญาณแอมพลิจูดชิ้นงานทดสอบ ได้ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 กราฟค่าเฉลี่ยความเค้นแรงดึงเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสัญญาณแอมพลิจูด

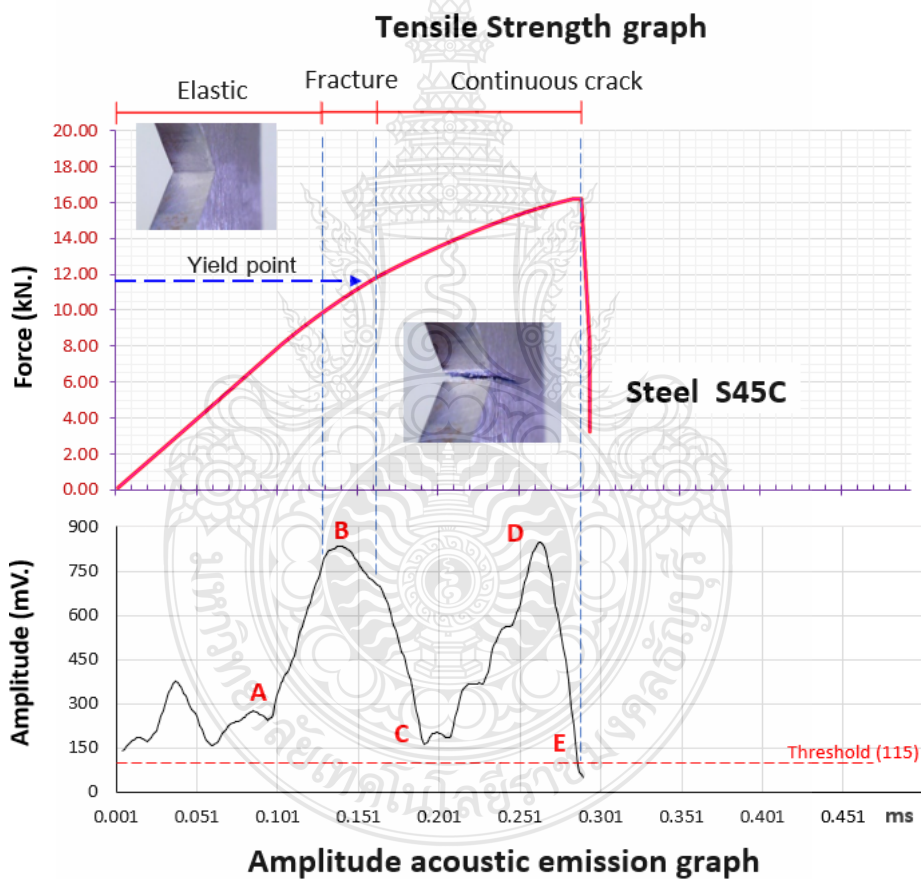


รูปที่ 4.9 ผลกราฟการตรวจวัดคลื่นสัญญาณพลาสติก High density polyethylene (HDPE)

4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.2.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองวัสดุเหล็กกล้า S45C

วัสดุเหล็กกล้า S45C (AISI 1045) เป็นวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางในสภาพจำหน่าย โครงสร้างจุลภาคมีความแข็งแรงประจะเป็นผลให้การเปลี่ยนแปลงรูปร่างลักษณะยืดหยุ่นของโครงสร้างจุลภาคเป็นไปได้เล็กน้อยมาก ส่งผลให้การแตกร้าวของโครงสร้างผลึกเกิดเป็นสัญญาณแอมพลิจูดที่มีค่าสูงมียอดเกินสัญญาณต่อเนื่องที่น้อย ขณะที่ขึ้นงานทดสอบถูกกระทำให้เกิดความเค้นแรงดึงอย่างช้าๆ ด้วยความเร็วดึง 5 มิลลิเมตรต่อนาที วัสดุเกิดความเค้นในช่วงเริ่มต้นของกราฟค่าทดสอบแรงดึง



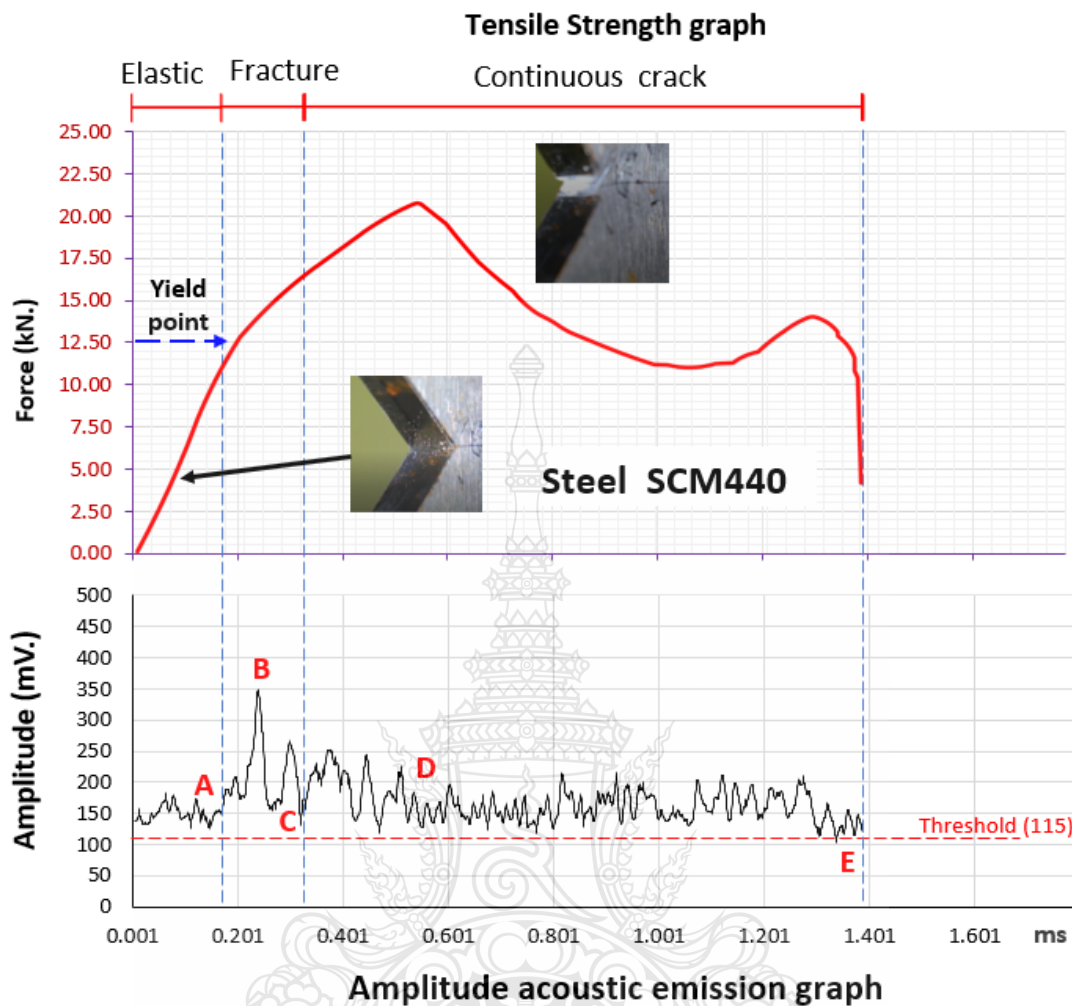
รูปที่ 4.10 กราฟค่าเฉลี่ยความเค้นแรงดึงเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสัญญาณแอมพลิจูดวัสดุเหล็กกล้า S45C

(Tensile strength) ดังรูปที่ 4.10 ที่โซนการยืดตัว (Elastic) กราฟเส้นเกิดเป็นสไลบความชัน ที่แสดงถึงโครงสร้างจุลภาคของวัสดุมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบยืดหยุ่น (Elastic deformation) ที่ความเค้น

แรงดึง 0-9.00 kN. ซึ่งวัสดุที่ถูกแรงดึงกระทำในระดับนี้โครงสร้างจุลภาคจะมีการเคลื่อนที่ไปเล็กน้อย (จุด A) (ถ้านำความเค้นออกโครงสร้างจุลภาคจะคืนสู่สภาพเดิม) ทำให้กราฟตรวจวัดสัญญาณแอมพลิจูดแสดงสัญญาณในระดับคงที่เหนือเส้นเทอร์ชโซลด์และมีแนวโน้มสัญญาณที่เพิ่มสูงขึ้นจากการแตกร้าวไปตามระนาบของการึกษาคที่มากขึ้นอย่างรวดเร็ว (จุด B) เมื่อวัสดุรับความเค้นแรงดึงที่ 12 kN. เกิดเป็นจุดยิวต์ (Yield point) ในโซนแตกร้าว (Fracture) โครงสร้างจุลภาคมีการแตกร้าวหรือเกิดการเปลี่ยนรูปร่างแบบถาวร (Plastic deformation) ทำให้เกิดเป็นสัญญาณแอมพลิจูดเพิ่มขึ้นสูงสุดและลดลงอย่างรวดเร็ว (จุด C) ซึ่งเป็นโซนแตกร้าวต่อเนื่อง (Continuous crack) ที่โครงสร้างจุลภาคเกิดเป็นโซนพลาสติกขึ้นชั่วคราว เป็นผลจากโครงสร้างมีการแตกร้าวเล็กน้อย และสัญญาณแอมพลิจูดเพิ่มขึ้น (จุด D) บ่งชี้ว่าโครงสร้างมีระดับความทนทาน (Toughness) ชั่วขณะก่อนที่ชิ้นทดสอบขาดออกจากกัน

4.2.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองวัสดุเหล็กกล้า SCM440

วัสดุเหล็กกล้า SCM440 (AISI 4140) เป็นวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางในสภาพจำหน่าย โครงสร้างจุลภาคมีความแข็งแรงเหนียว จากส่วนผสมของธาตุโมลิบดีนัม (Mo) และ โครเมียม (Cr) เป็นส่วนประกอบ เป็นผลให้การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของโครงสร้างจุลภาคมีการยึดตัวได้ดี ส่งผลให้การแตกร้าวของโครงสร้างผลึกเกิดเป็นเส้นสัญญาณแอมพลิจูดที่มีความถี่ชิดต่อเนื่องกันในช่วงเริ่มต้น เมื่อชิ้นงานได้รับความเค้นแรงดึงอย่างช้าๆ ด้วยความเร็วดึง 5 มิลลิเมตรต่อนาที วัสดุเกิดสัดส่วนความเค้นเริ่มต้นของกราฟค่าทดสอบแรงดึง (Tensile strength) ดังรูปที่ 4.11 ที่โซนการยึดตัว (Elastic) เกิดเป็นกราฟเส้นสโลปความชันที่แรงดึง 0-11 kN. แสดงถึงโครงสร้างจุลภาคของวัสดุมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบยืดหยุ่น (Elastic deformation) วัสดุที่ถูกแรงดึงกระทำในระดับนี้ จะเกิดสัญญาณแอมพลิจูดขึ้นเฉลี่ยที่ 115-200 mV. ทำให้โครงสร้างจุลภาคที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปเล็กน้อย (จุด A) และเมื่อวัสดุถูกแรงความเค้นกระทำเกิน 11.72 kN. คือจุดยิวต์ (Yield point) เห็นได้ชัดเจนว่าโครงสร้างจุลภาคเริ่มมีการแตกร้าวทำให้สัญญาณแอมพลิจูดมีขนาดเพิ่มสูงถึง 350 mV. (ที่จุด B) ที่จุดนี้โครงสร้างจุลภาคมีการเสีรูปร่างอย่างถาวรจากภายในวัสดุ และที่มุมมากมีลักษณะการแยกตัวออกอย่างเห็นได้ชัดเจนในโซนแตกร้าว (Fracture) ในขณะเดียวกันเส้นกราฟแรงดึงมีระดับสูงขึ้นไปแต่ระดับค่าสัญญาณแอมพลิจูดลดลง (จุด C) และมีระดับสัญญาณแอมพลิจูดคงที่เฉลี่ย 115-230 mV. ที่จุด D อย่างต่อเนื่องจนถึงจุด E แสดงว่าโครงสร้างจุลภาคมีการยึดตัวออกพร้อมกับมีแตกร้าวอย่างต่อเนื่องในช่วงโซนการแตกร้าวต่อเนื่อง (Continuous crack) จนกระทั่งชิ้นงานขาดออกจากกัน

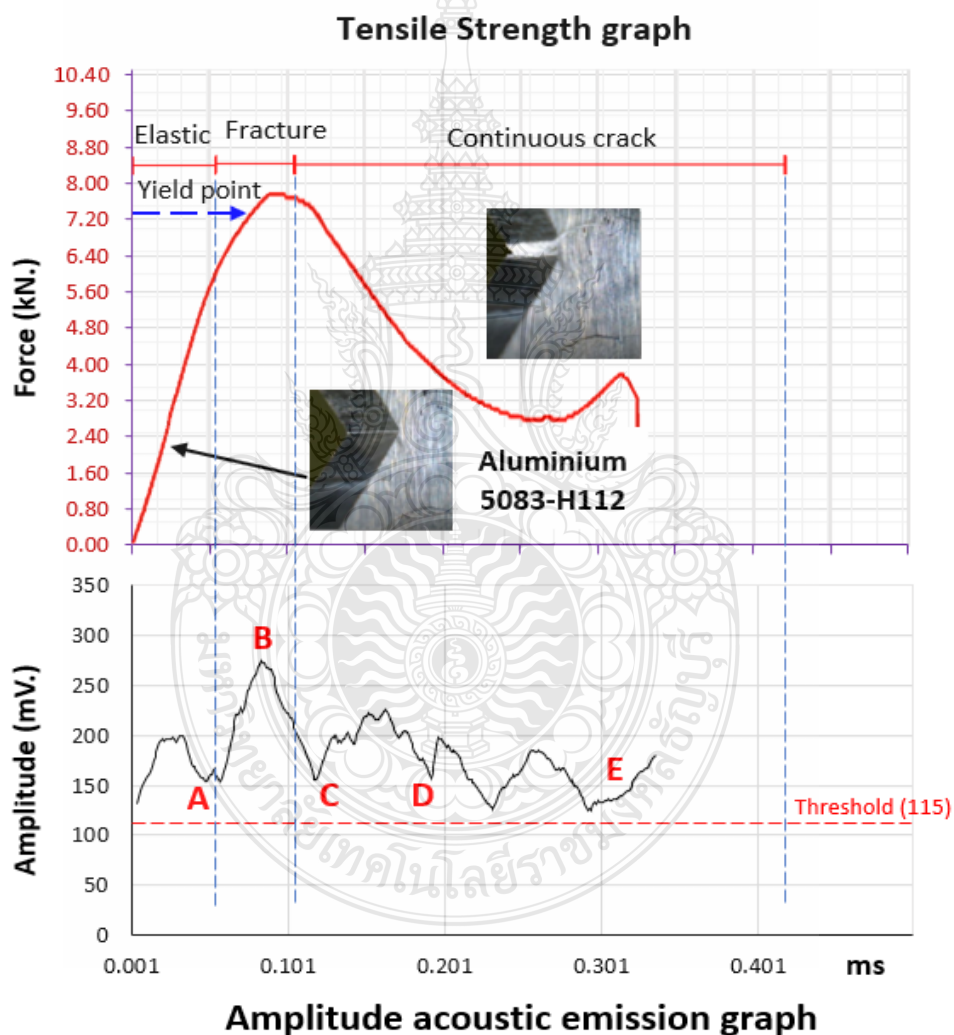


รูปที่ 4.11 กราฟค่าเฉลี่ยความเค้นแรงดึงเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยสัญญาณแอมพลิจูดวัสดุเหล็กกล้า SCM440

4.2.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองวัสดุอะลูมิเนียม 5083-H112

วัสดุอะลูมิเนียม 5083-H112 เป็นวัสดุอะลูมิเนียมในสภาพจำหน่าย เป็นโลหะนอกกลุ่มเหล็ก (Non-Ferrous) มีความอ่อนและยืดตัวได้ดี โครงสร้างจุลภาคมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ง่ายเมื่อมีแรงกระทำกับโครงสร้าง เมื่อวัสดุได้รับความเค้นแรงดึงอย่างช้าๆ ที่ความเร็วดึง 5 มิลลิเมตรต่อนาที วัสดุเกิดสัดส่วนความเค้นเริ่มต้นของกราฟค่าทดสอบแรงดึง (Tensile strength) ดังรูปที่ 4.12 ที่ โชนการยืดตัว (Elastic) เกิดเป็นกราฟเส้นสโลบความชันที่ความเค้นแรงดึง 0-5.70 kN. แสดงให้เห็นเคาน์สัญญาณแอมพลิจูดเกิดขึ้นในช่วง 115-200 mV. และลดลงทันที (ที่จุด A) เป็นผลจากการยืดตัวได้ง่ายจึงทำให้การปลดปล่อยสัญญาณมีความต่อเนื่องและเมื่อวัสดุได้รับความเค้นแรงดึงที่ 6.4 kN.

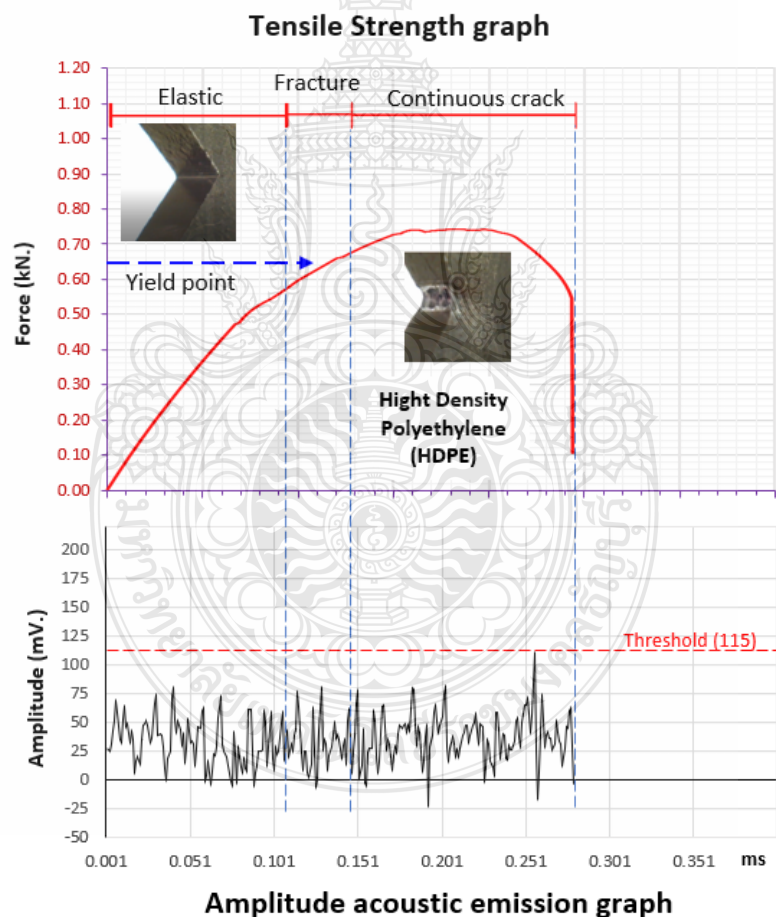
เป็นผลให้โครงสร้างจุลภาคเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปเป็นการแตกร้าวภายในบริเวณมุมฉาก ซึ่ง จะเห็นสัญญาณแอมพลิจูดเพิ่มสูงขึ้นจากจุด A ไปสู่จุด B ขณะที่วัสดุได้รับความเค้น 7.30 kN. ที่ จุดยิวต์ (Yield point) ทำให้โครงสร้างจุลภาคมีการเสียรูปอย่างถาวรที่โซนแตกร้าว (Fracture) และมี ระดับเค้นสัญญาณแอมพลิจูดที่ลดลง (จุด C) เมื่อเข้าสู่โซนการแตกร้าวต่อเนื่อง (Continuous crack) แสดงให้เห็นเค้นสัญญาณแอมพลิจูดที่วัดได้ 115-240 mV. และมีความกว้างของเค้นสัญญาณแอมพลิจูดที่มีพฤติกรรมการยืดตัวของโครงสร้างก่อนถักขาดอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งชิ้นงานขาดจากกันที่ จุด E



รูปที่ 4.12 กราฟค่าเฉลี่ยความเค้นแรงดึงเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยสัญญาณแอมพลิจูดวัสดุอะลูมิเนียม 5083-H112

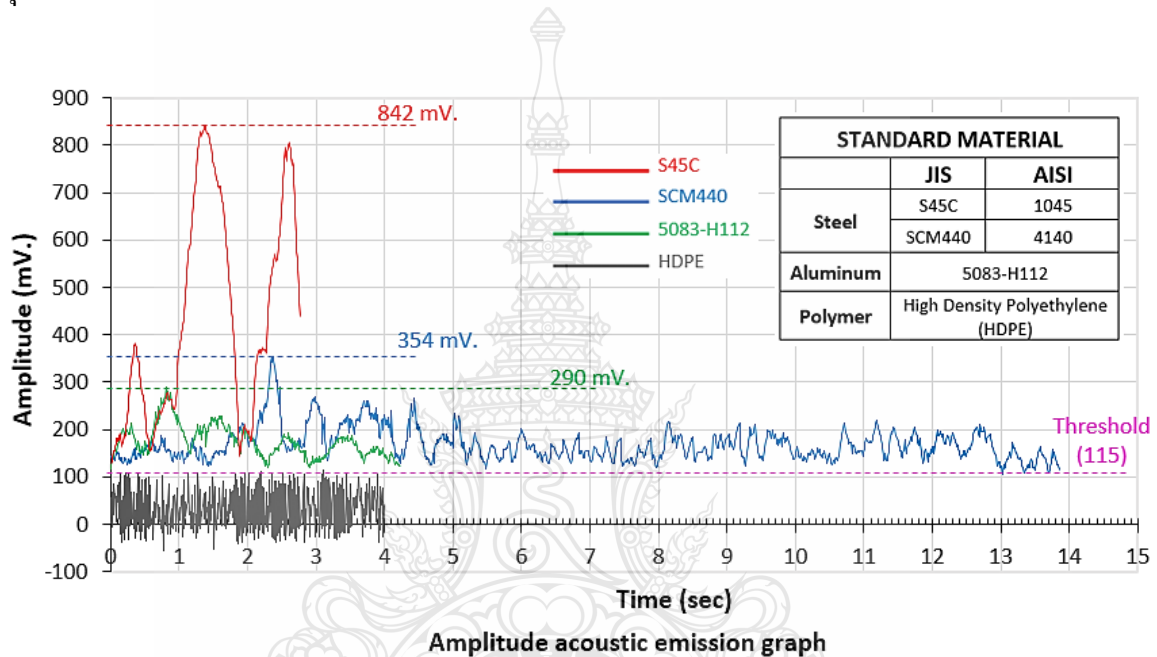
4.2.4 การวิเคราะห์ผลการทดลองวัสดุพลาสติก High Density Polyethylene (HDPE)

วัสดุพลาสติก High Density Polyethylene เป็นวัสดุกลุ่มพอลิเมอร์ในสภาพจำหน่าย มีการจัดเรียงโครงสร้างพันธะแบบเส้นใย ทำให้สามารถยึดตัวได้ดี เมื่อวัสดุได้รับความเค้นแรงดึงอย่างช้าๆ ที่ความเร็วถึง 5 มิลลิเมตรต่อนาที วัสดุเกิดความเค้นแรงดึงเริ่มต้นซึ่งแสดงเป็นกราฟเส้นค่าทดสอบแรงดึง (Tensile strength) ดังรูปที่ 4.13 ในช่วงการยึดตัว (Elastic) ชิ้นงานทดสอบได้รับความเค้นแรงดึงที่ 0-0.55 kN. กราฟค่าแอมพลิจูดไม่ปรากฏสัญญาณเหนือเส้นเทรชโฮลด์ หรือกระทั่งเข้าสู่จุดยิวล์ (Yield point) จนกระทั่งชิ้นงานเกิดการเสียรูปถาวรก็ตาม เมื่อความเค้นแรงดึง 0.65 kN. เป็นผลให้ชิ้นงานทดสอบเกิดการเสียรูปอย่างรวดเร็วเมื่อได้รับความเค้นแรงดึง และไม่ปรากฏสัญญาณแอมพลิจูดเหนือเส้นเทรชโฮลด์ตลอดการดึงชิ้นงานทดสอบ



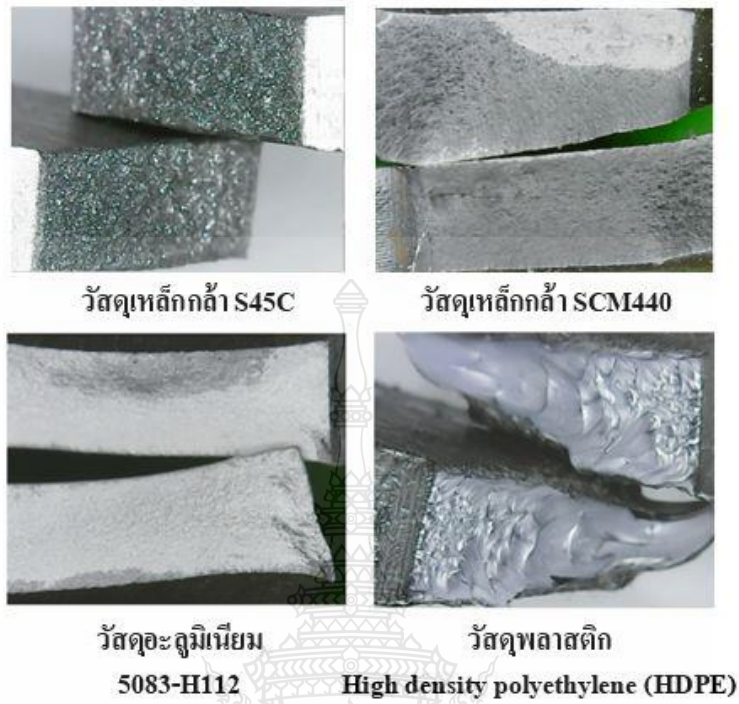
รูปที่ 4.13 กราฟค่าเฉลี่ยความเค้นแรงดึงเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยสัญญาณแอมพลิจูดวัสดุพลาสติก High Density Polyethylene

จากผลกราฟการตรวจวัดคลื่นสัญญาณแอมพลิจูดของวัสดุทั้งสี่ชนิด นำผลที่ได้มาทำการสร้างเป็นกราฟค่าเฉลี่ยของสัญญาณแอมพลิจูดในแต่ละชนิดวัสดุ ได้เป็นกราฟเปรียบเทียบผลของสัญญาณแอมพลิจูดได้ ดังรูปที่ 4.14 ที่แสดงให้เห็นพฤติกรรมของโครงสร้างวัสดุที่เปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณแอมพลิจูดที่เกิดขึ้นจากการตรวจวัดการปลดปล่อยคลื่นสัญญาณอะคูสติกส์ ที่สามารถบ่งชี้ให้เห็นถึงพฤติกรรมของวัสดุแต่ละชนิดขณะเกิดการยึดตัวก่อนการแตกร้าวในระดับ โครงสร้างจุลภาค ที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.14 ผลกราฟค่าเฉลี่ยแอมพลิจูดของวัสดุเหล็กกล้า S45C (สีแดง), เหล็กกล้า SCM440 (สีฟ้า), อะลูมิเนียม 5083-H112 (สีเขียว), พลาสติก High density polyethylene (HDPE) (สีดำ)

และจากรูปที่ 4.15 แสดงตัวอย่างลักษณะผิวที่เกิดจากการฉีกขาดของโครงสร้างวัสดุแต่ละชนิด ที่มีโครงสร้างผิวของผลึกที่แตกต่างกัน จะเห็นได้ว่าผิวการแตกร้าวของวัสดุเหล็กกล้า S45C มีโครงสร้างผลึกที่หยาบอย่างเห็นได้ชัดเจนมากเมื่อเทียบกับวัสดุเหล็กกล้า SCM440 ซึ่งอาจเป็นผลให้การเกิดสัญญาณแอมพลิจูดมีค่าที่สูงสุด และอะลูมิเนียม 5083-H112 ซึ่งเป็นวัสดุที่มีการยึดตัวได้ดีมีผิวโครงสร้างผลึกที่ละเอียดจากการแตกร้าวซึ่งให้ระดับสัญญาณใกล้เคียงวัสดุเหล็กกล้า SCM440 แต่มีการเกิดสัญญาณแอมพลิจูดที่สูงกว่าซึ่งอาจเป็นผลจากความทนทานของโครงสร้างอะลูมิเนียม และในวัสดุพลาสติก High Density Polyethylene (HDPE) เป็นวัสดุที่สามารถยึดตัวได้มากทำให้ผิวมีการฉีกขาดมีลักษณะขาดเป็นเส้นริ้วตามการยึดตัวออกของคุณสมบัติพลาสติก



รูปที่ 4.15 ผิวจากการรีดของวัสดุจากการทดลอง

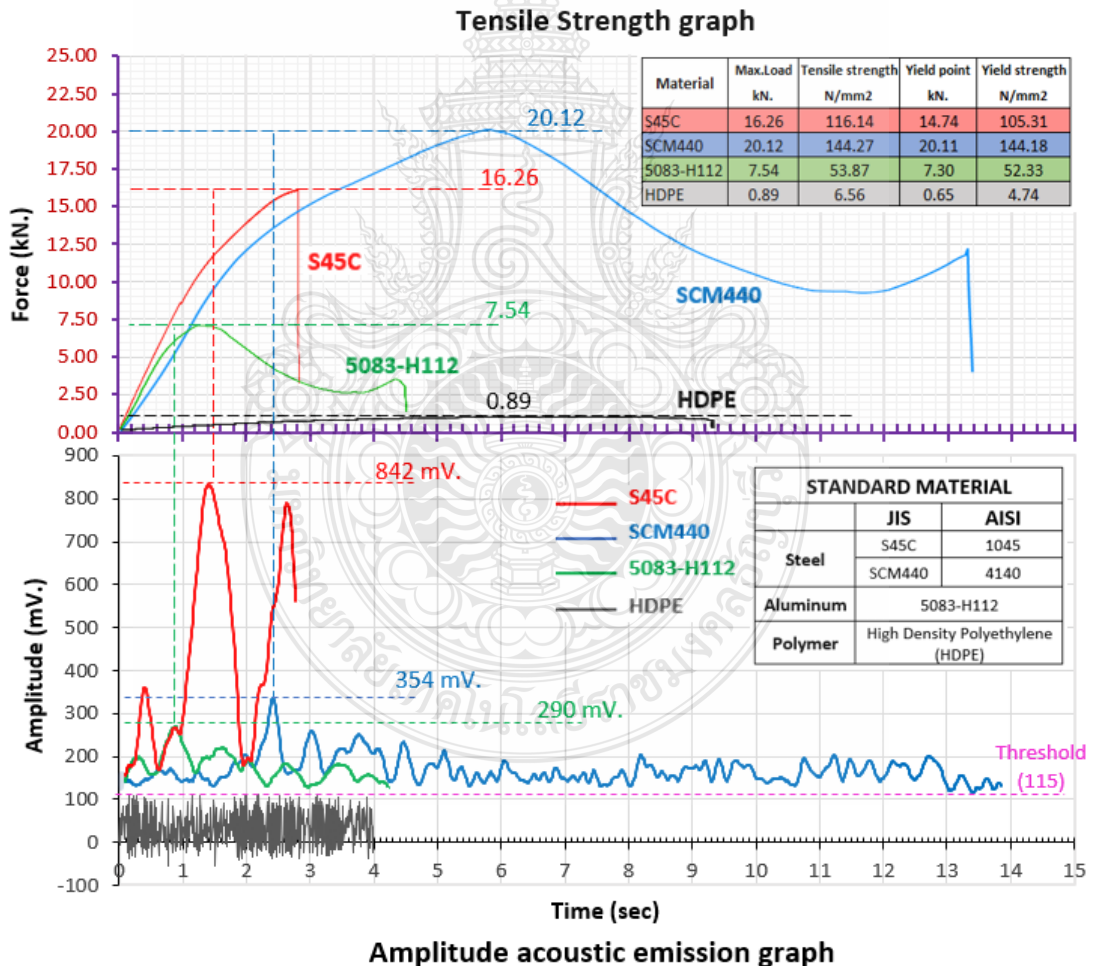


บทที่ 5

สรุปผลการวิเคราะห์และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิเคราะห์

การทดลองพบว่า ขณะที่วัสดุได้รับความเค้นด้วยแรงดึงเชิงกล วัสดุได้แสดงรูปแบบสัญญาณอะคูสติกส์อิมิชชัน ดังรูปที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณอะคูสติกส์ที่มีผลตอบสนองจากแรงดึงเชิงกล แสดงให้เห็นลักษณะของสัญญาณแอมพลิจูดที่เกิดขึ้นจากพฤติกรรมของโครงสร้างจุลภาคที่ปลดปล่อยคลื่นสัญญาณอะคูสติกส์ในช่วงที่โครงสร้างวัสดุมีการยืดตัวออกเป็นสัดส่วนกับขนาดของแรงดึงในวัสดุแต่ละชนิด จะพบว่ามีขนาดรูปแบบสัญญาณแอมพลิจูด



รูปที่ 5.1 กราฟความสัมพันธ์ของสัญญาณอะคูสติกส์ที่มีผลตอบสนองจากแรงดึงเชิงกล

ที่เกิดขึ้นแตกต่างกันในแต่ละชนิดและคุณสมบัติของวัสดุอย่างเห็นได้ชัดเจน ในวัสดุเหล็กกล้า S45C (สีแดง), เหล็กกล้า SCM440 (สีฟ้า), และอะลูมิเนียม 5083-H112 (สีเขียว) มีระดับสัญญาณแอมพลิจูดสูงขึ้นตามลำดับเมื่อวัสดุได้รับแรงดึงจนกระทั่ง โครงสร้างจุลภาคถึงจุดวิกฤติที่วัสดุจะสามารถรับความเค้นแรงดึงได้ ที่จุดยิวต์ (Yield point) ซึ่งเป็นจุดที่วัสดุเกิดความเค้น (σ) สูงสุด ต่อพื้นที่ภายใน โครงสร้างจุลภาคส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยเป็นสัญญาณอะคูสติกส์อิมพัลส์ที่มีค่าแอมพลิจูดสูงสุด และจากกราฟการทดลองทำให้ได้ค่าของช่วงวัดสัญญาณแอมพลิจูด ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบตรวจวัดค่าสัญญาณแอมพลิจูดการแตกร้าวในวัสดุ

วัสดุ		ความเร็วแรงดึงวัสดุ	ช่วงวัดสัญญาณแอมพลิจูด (mV.)	ค่าเฉลี่ยสัญญาณจากการทดลอง (mV.)
เหล็กกล้า	S45C (AISI 1045)	5 มิลลิเมตร ต่อนาที	115-1,000	842
เหล็กกล้า	SCM440 (AISI 4140)		115-500	354
อะลูมิเนียม	5083-H112		115-350	290
พลาสติก	High Density Polyethylene (HDPE)		น้อยกว่า 115	น้อยกว่า 115

สำหรับวัสดุพลาสติก High Density Polyethylene (HDPE) จากการทดสอบไม่พบว่ามีระดับความเปลี่ยนแปลงของขนาดสัญญาณแอมพลิจูดอย่างชัดเจนเหนือเส้นเทรชโซลด์แสดงว่าการปลดปล่อยสัญญาณอะคูสติกส์มีระดับที่น้อยมาก เช่นเดียวกับผลการวิจัยของนายนิโคลัส คาเซียส [5] ที่ศึกษารูปแบบการเกิดสัญญาณอะคูสติกส์ในวัสดุพลาสติก High Density Polyethylene ที่เสียดสีจากการทดสอบแรงดึง ซึ่งอธิบายว่าอาจเป็นผลจากโครงสร้างพื้นฐานของพลาสติกเป็นแบบเส้นใย ทำให้โครงสร้างยืดตัวออกได้ง่าย อาจเป็นผลทำให้ค่าสัญญาณแอมพลิจูดที่เกิดขึ้นมีระดับต่ำกว่าเส้นเทรชโซลด์ที่กำหนด ต่างจากวัสดุเหล็กกล้าและอะลูมิเนียมที่มีโครงสร้างเป็นผลึกที่ยึดเกาะกันได้ดีกว่า

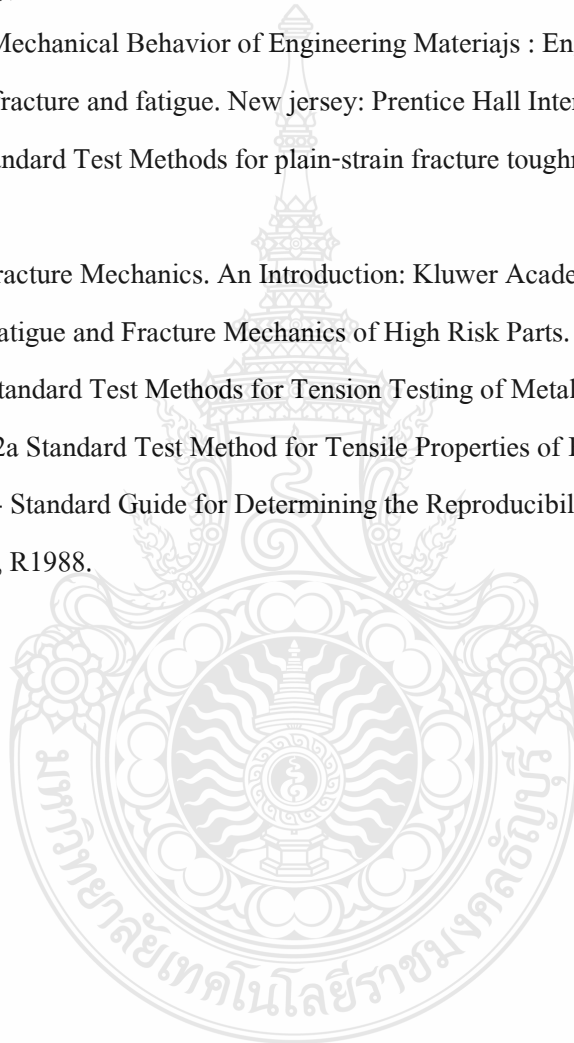
5.2 ข้อเสนอแนะ

1. รูปแบบของแรงที่กระทำให้เกิดการแตกร้าว อาจทำให้ลักษณะของสัญญาณแอมพลิจูดมีความแตกต่างออกไป
2. งานวิจัยนี้เน้นหลักการตรวจวัดสัญญาณแอมพลิจูดและวิเคราะห์ผลรูปแบบสัญญาณที่เกิดขึ้นจากการทดสอบแรงดึงของวัสดุเหล็ก S45C, เหล็ก SCM440, อะลูมิเนียม 5083-H112, พลาสติก High density polyethelene (HDPE) เพื่อนำไปวิเคราะห์ถึงพฤติกรรมการแตกร้าวที่มีความสัมพันธ์ต่อโครงสร้างจุลภาคที่ได้รับความเค้นแรงดึงตามชนิดวัสดุที่ได้ทำการทดสอบ

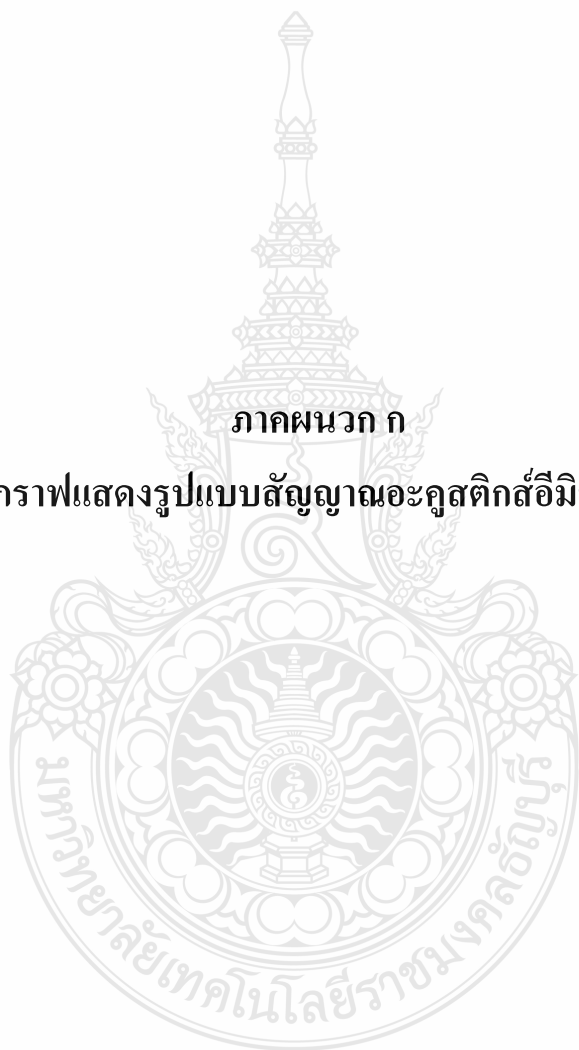
บรรณานุกรม

- [1] พรชัย นิเวศน์รังสรรค์. การประยุกต์ใช้อะคูสติกอิมิชชัน ในงานอุตสาหกรรม. Technology pramotia, 2011. P.63-66.
- [2] จีรพงศ์ กสิวิทย์อำนวย, กลศาสตร์การแตกหัก. คณะวิศวกรรมศาสตร์: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพฯ, 2553.
- [3] วิชาการ.คอม, "การตรวจสอบถังขนส่ง CNG โดยใช้วิธีอะคูสติกอิมิชชัน(AE)," เทคโนโลยี-นวัตกรรม:กรุงเทพฯ, 2012.
- [4] Joseph Kaiser, "The Kaiser-Effect and its scientific background.," Acoustic emission group, USA. 1945, vol. 22, pp. S1-S16.
- [5] Nicolas Casiez, "Acoustic emission from the initiation of plastic deformation of Polyethylenes during tensile tests," Polymer:France, 2014., vol. 55, no. 25, pp. 6561-6568.
- [6] Yibo Ai, "Investigation of Material Performance Degradation for High-Strength Aluminum Alloy Using Acoustic Emission Method," Research metal, China. 2015, pp. 228-238.
- [7] Vallen Systeme GmbH, "Fundamentals-Equipment-Data Analysis," Journal analysis; Germany, vol. 7, no. 09, p. 7, 2002.
- [8] J. George E. Dieter, Metallurgy and Metallurgical engineering seires. McGraw-Hill: New York, 1961.
- [9] A. Sivakorn, "Investigation of the Performance of Modern Coatings Applied to Single Point Tools for Metal Cutting," Ph.D. Research, University of Northumbria at Newcastle, 2002.
- [10] NDT resource center. The Collaboration for NDT Education, Iowa State University, 2001.
- [11] Dintegrity diagnostics, "Acoustic emission inspection of corrosion under isulation," Journal Analysis; U.S.A., 2013.
- [12] C. J. Hellier, Handbook of nondestructive evaluation. McGRAW-HILL Companies, Inc. New York, 2003.
- [13] D.C.Drucker and J.R. Rice "Plastic deformation in brittle and ductile fracture," Journal; Engineering fracture mechanics U.S.A., 1970.
- [14] D. R. Askeland, The Science and Engineering of Materials, Sixth ed. Cengage learning: Australia, 2010.

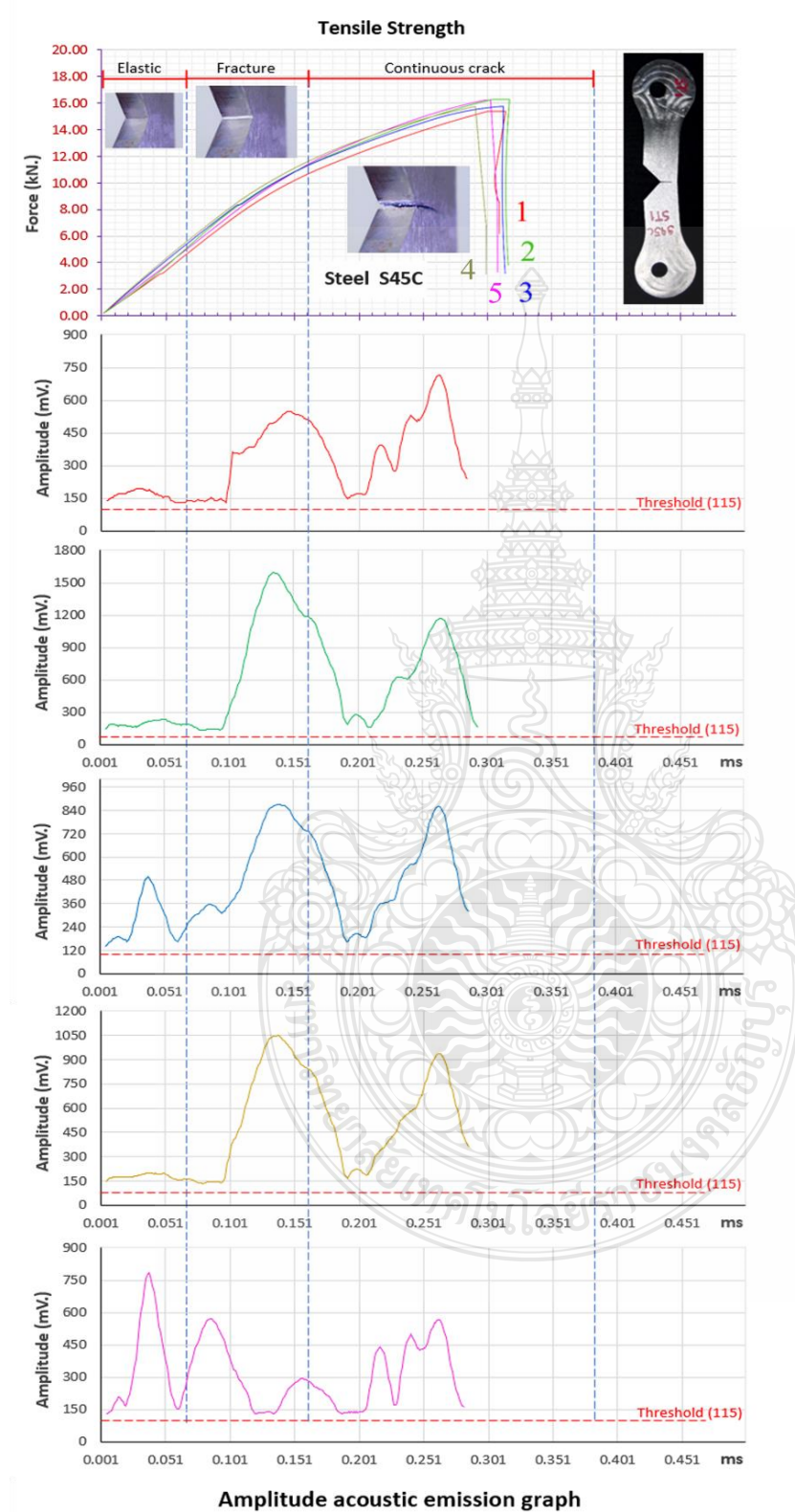
- [15] William D. Callister, W. Anderson, Ed. Fundamentals of Materials Science and Engineering, 5 ed. John Wiley & Sons: New York, 2001.
- [16] D. R. Askeland, Essentials of Materials Science and Engineering, Second Edition. Cengage Learning: Australia, 2009.
- [17] T.L.Anderson, Fracture mechanics fundamentals and applications. Florida,USA: Taylor & Francis Group, 2005.
- [18] N. E. Dowling, Mechanical Behavior of Engineering Materials : Engineering methods for deformation,fracture and fatigue. New jersey: Prentice Hall International Inc, 1993.
- [19] ASTM. E399 Standard Test Methods for plain-strain fracture toughness of metallic Materials. USA, 1990.
- [20] E. E. Gdoutos, Fracture Mechanics. An Introduction: Kluwer Academic publishers, 1993.
- [21] B. Farahmand, Fatigue and Fracture Mechanics of High Risk Parts. Chapman&Hall, 1997.
- [22] ASTM. E-8-M Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials. USA, 1924.
- [23] ASTM. D 638-02a Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. USA,1941.
- [24] ASTM. E 976-84 Standard Guide for Determining the Reproducibility of Acoustic Emission Sensor, USA, R1988.



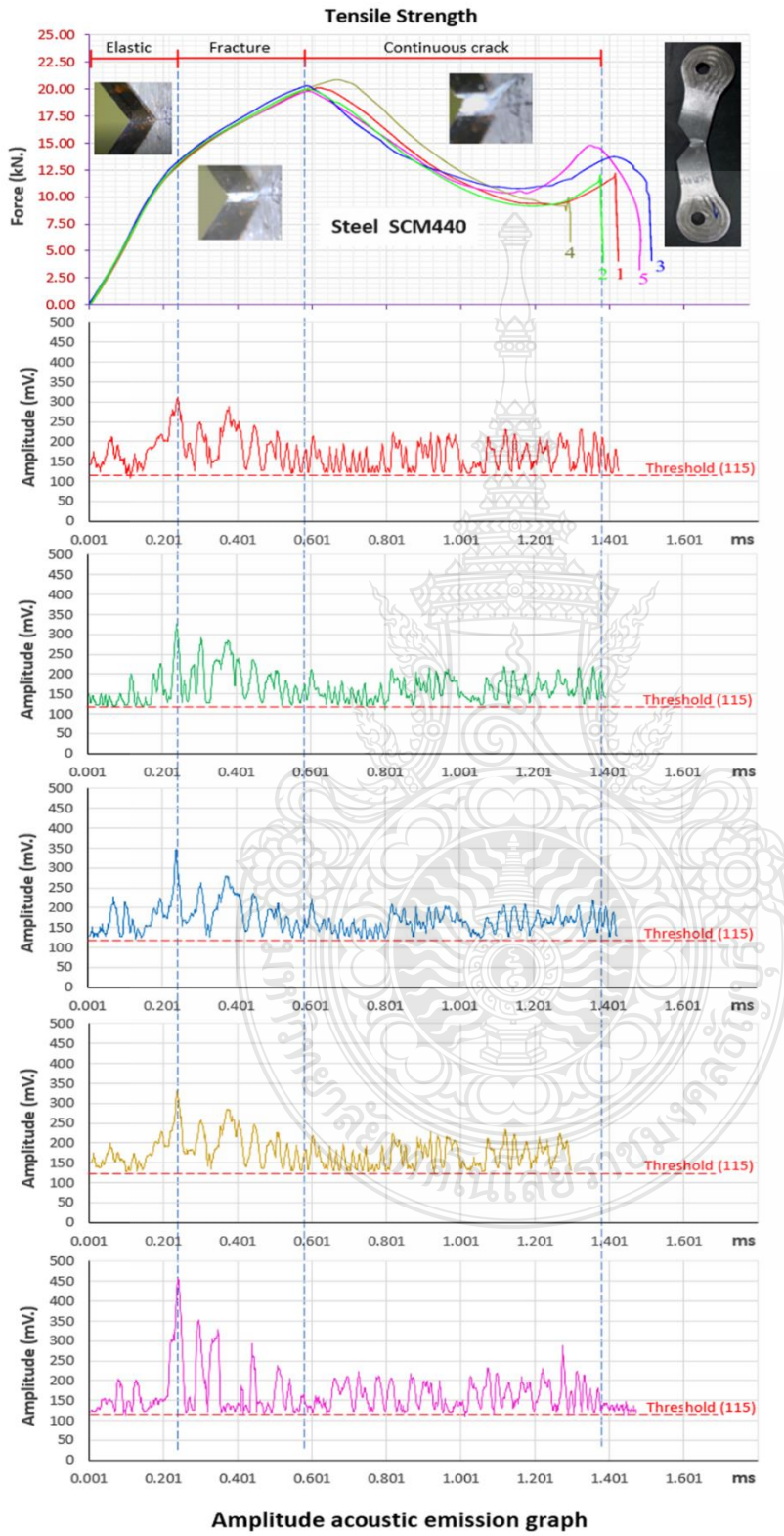
ภาคผนวก ก
กราฟแสดงรูปแบบสัญญาณอะคูสติกส์อีมิชชั่น



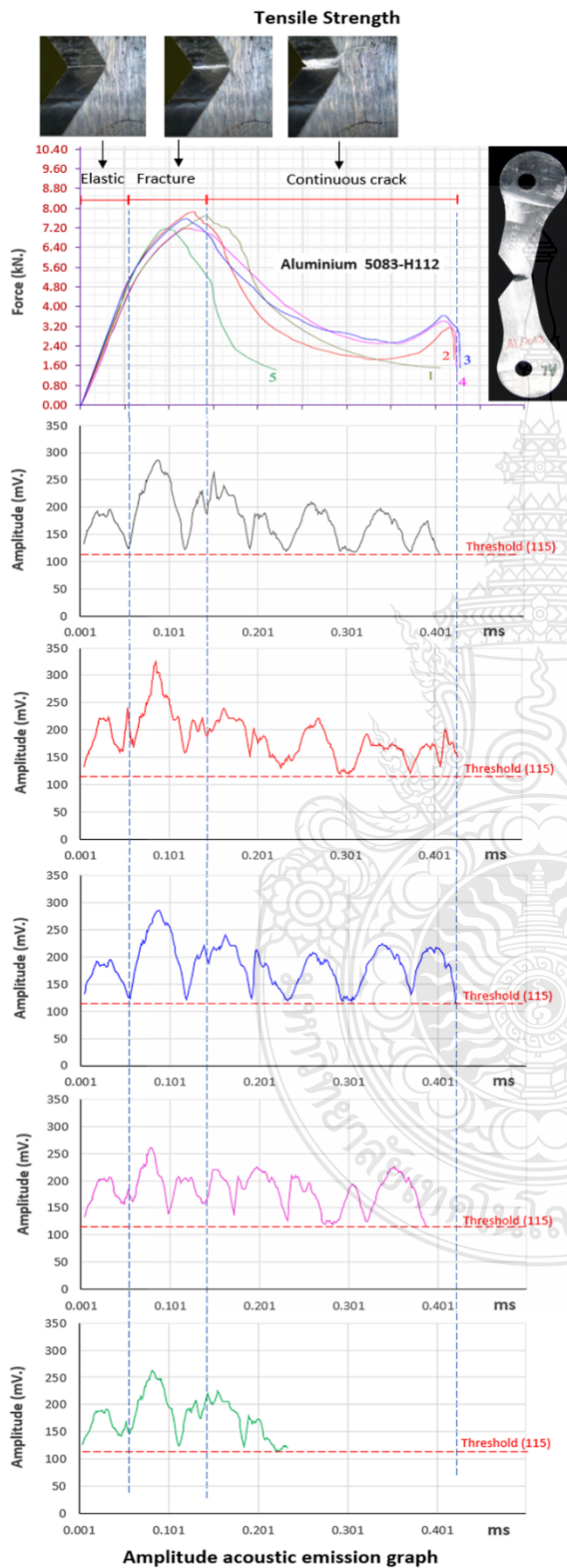
ตารางที่ ก.1 รูปแบบสัญญาณอะคูสติกส์อิมิตชันวัสดุเหล็กกล้า S45C



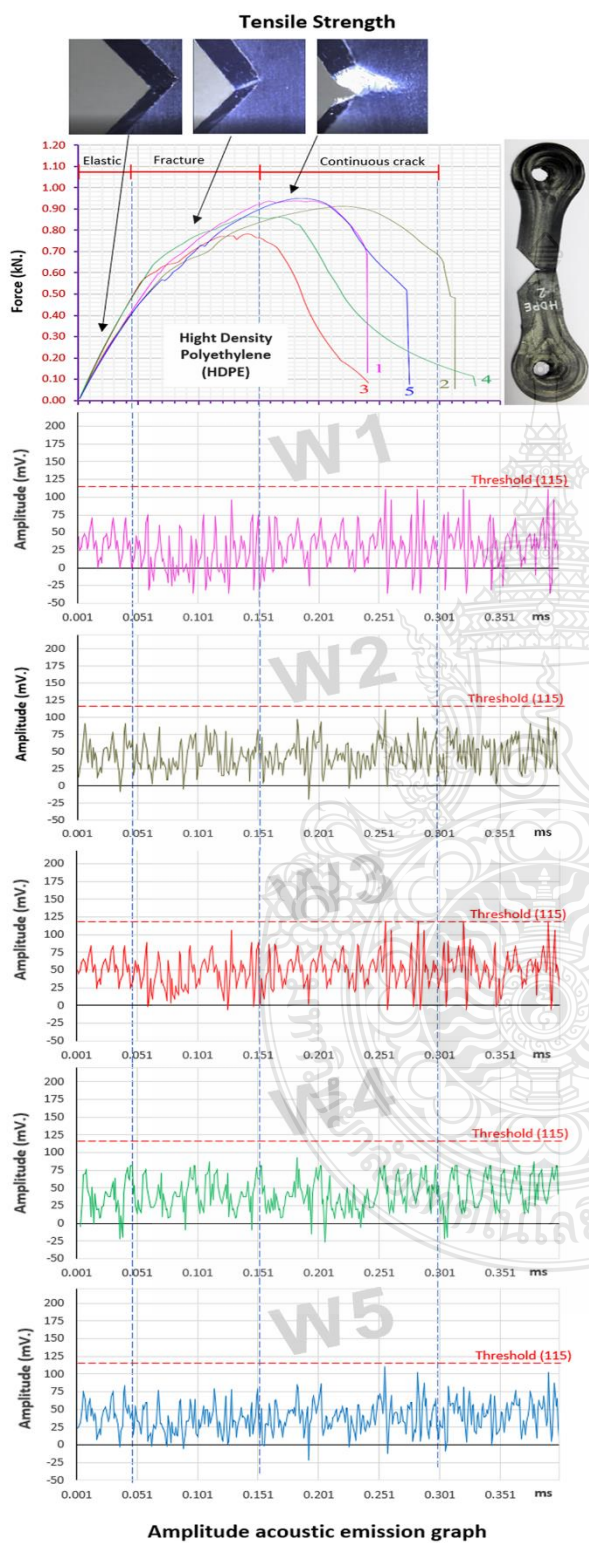
ตารางที่ ก.2 รูปแบบสัญญาณอะคูสติกส้อมิซันวัสดุเหล็กกล้า SCM440



ตารางที่ ก.3 รูปแบบสัญญาณอะคูสติกส์อิมพัลส์มีชั้นวัสดุอะลูมิเนียม 5083-H112



ตารางที่ ก.4 รูปแบบสัญญาณอะคูสติกส้อมิซันชั้นวัสดุพลาสติก Hight Density Polyethylene





ภาคผนวก ข
ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุ

ตารางที่ ข.1 การทดสอบคุณสมบัติส่วนผสมธาตุวัสดุ



THAILAND INSTITUTE OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL RESEARCH (TISTR)
MATERIAL PROPERTIES ANALYSIS AND DEVELOPMENT CENTRE (MPAD)

Request No. S6200351

Date : 14 February 2019

Date of request : 11 February 2019

Page : 1 of 5

REPORT ON ANALYSIS / TESTING

For

Rajamangala University of Technology Thanyaburi
39 Moo 1, Klong 6, Khlong Luang, Pathum Thani 12110

Testing/analysis/investigation of :
1. SCM440 (AISI 4140)
2. S45C (AISI 1045)
3. S083-H112

Method of testing/analysis/investigation : Chemical composition analysis followed the manual of SPECTROLAB M10

Result of testing/analysis/investigation :

The results are attached.

Tested/analyzed/investigated by

1.
.....
2.
3.
4.

Approved by

.....
(Sumate Poomiapiiradee, Ph.D.)

Director of Material Properties and Failure Analysis Laboratory

Examined by

.....
(Ms. Chanpen Ruangyuwanon)

This report contains 5 pages, all pages must be signed by the authorized person for report approval.

FS-MPAD-GEN-708-1-09/05/61

Remark : The above results are valid exclusively for tested/analysed samples as mentioned in this report.

Publication of the results on testing and analysis is prohibited unless written permission is obtained from the governor of TISTR

ตารางที่ ข.2 การทดสอบคุณสมบัติส่วนผสมธาตุวัสดุ



THAILAND INSTITUTE OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL RESEARCH (TISTR) MATERIAL PROPERTIES ANALYSIS AND DEVELOPMENT CENTRE (MPAD)	
Request No. : S6200351	Date : 14 February 2019
REPORT	
Customer : Rajamangala University of Technology Thanyaburi	Page : 2 of 5
<p>Rajamangala University of Technology Thanyaburi has commissioned the Material Properties Analysis and Development Centre, Thailand Institute of Scientific and Technological Research (MPAD/TISTR) to carry out chemical composition analysis of</p> <ol style="list-style-type: none">1. SCM440 (AISI 4140)2. S45C (AISI 1045)3. 5083-H112 <p>The results are as follows :</p>	
 วว-TISTR	
FS-MPAD-GEN-708-2-09/05/61	

ตารางที่ ข.3 การทดสอบคุณสมบัติส่วนผสมธาตุวัสดุเหล็กกล้า S45C



THAILAND INSTITUTE OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL RESEARCH (TISTR)
MATERIAL PROPERTIES ANALYSIS AND DEVELOPMENT CENTRE (MPAD)
MATERIAL PROPERTIES AND FAILURE ANALYSIS LABORATORY (MPF)

Request No. : S6200351 Date : 14 February 2019

REPORT

Customer : Rajamangala University of Technology Thanyaburi Page : 4 of 5

Temperature : 23.5 °C Relative Humidity : 51 %
 Equipment : SPECTROLAB M10

Table 2 The chemical composition analysis result of S45C (AISI 1045)


Measurement report: 2/13/2019 11:08:37 AM Method : Fe-10 Model: Low alloy steel

Sample: S45C (AISI 1045)

Average of 3 measurements (% wt)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti
0.496	0.252	0.780	0.0120	0.0103	0.105	0.0261	0.0449	0.0031	0.0075	0.0970	0.0015	0.0026
V	W	Pb	Sn	B	N	Fe						
0.0013	0.0031	< 0.00020	0.0046	0.00028	0.0101	98.1						

The values with "<" are less than the detection limit of the equipment.


FS-MPAD-MPF-708-1-09/05/61

ตารางที่ ข.4 การทดสอบคุณสมบัติส่วนผสมธาตุวัสดุเหล็กกล้า SCM440



THAILAND INSTITUTE OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL RESEARCH (TISTR)
MATERIAL PROPERTIES ANALYSIS AND DEVELOPMENT CENTRE (MPAD)
MATERIAL PROPERTIES AND FAILURE ANALYSIS LABORATORY (MPF)

Request No. : S6200351 Date : 14 February 2019

REPORT

Customer : Rajamangala University of Technology Thanyaburi Page : 3 of 5

Temperature : 23.6 °C Relative Humidity : 52 %
 Equipment : SPECTROLAB M10

Table 1 The chemical composition analysis result of SCM440 (AISI 4140)


Measurement report: 2/13/2019 10:51:21 AM Method : Fe-10 Model: Low alloy steel

Sample: SCM440 (AISI 4140)

Average of 3 measurements (% wt)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti
0.412	0.174	0.692	0.0167	0.0039	0.922	0.202	0.0190	0.0323	0.0069	0.0367	0.0026	0.0021
V	W	Pb	Sn	B	N	Fe						
0.0059	0.0033	<0.00020	0.0013	0.00017	0.0055	97.4						

The values with “<” are less than the detection limit of the equipment.


 FS-MPAD-MPF-708-1-09/05/61

ตารางที่ ข.5 การทดสอบคุณสมบัติส่วนผสมธาตุวัสดุอะลูมิเนียม 5083-H112



THAILAND INSTITUTE OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL RESEARCH (TISTR)
MATERIAL PROPERTIES ANALYSIS AND DEVELOPMENT CENTRE (MPAD)
MATERIAL PROPERTIES AND FAILURE ANALYSIS LABORATORY (MPF)

Request No. : S6200351 **Date :** 14 February 2019

REPORT

Customer : Rajamangala University of Technology Thanyaburi **Page :** 5 of 5

Temperature : 23.3 °C **Relative Humidity :** 52 %
Equipment : SPECTROLAB M10


Table 3 The chemical composition analysis result of 5083-H112

Measurement report: 2/12/2019 12:36:48 PM Method : AI-01 Model: AI-base global program

Sample: 5083-H112

Average of 3 measurements (% wt)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Ag	B	Bi	P
0.0768	0.275	0.0187	0.661	4.54	0.103	0.0063	0.0327	0.0274	0.00009	0.0021	0.00027	0.00021
Pb	V	Zr	Al									
0.00059	0.0121	0.0024	94.2									



FS-MPAD-MPF-708-1-09/05/61

ตารางที่ ข.6 การทดสอบคุณสมบัติส่วนผสมธาตุวัสดุพลาสติก High Density Polyethylene



No. TRB_RE18/225

REPORT

SEMQuant results.

Listed at 13:10:01 PM on 20/07/2018

Operator : TARA BUSINESS

Client : Do SEM Services.

Job : Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT K6)

Spectrum label : High Density Polyethylene (HDPE)

System resolution = 59 eV

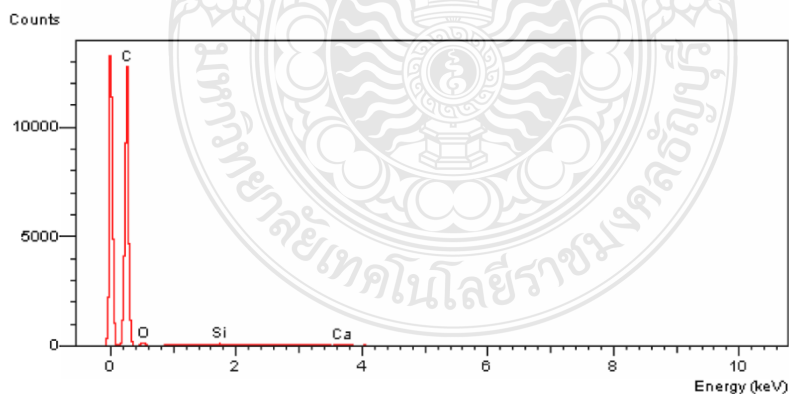
Quantitative method : ZAF (4 iterations).

Equipment : Do SEM-OXFORD INSTRUMENTS / Do SEM-LINK ISIS300

Analysed all elements and normalised results.

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	Wt%	%
C K	ED	90.92	93.15
O K	ED	8.76	6.73
Si K	ED	0.10	0.04
Ca K	ED	0.23	0.07
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma



บริษัท ทาราบิสซิเนส จำกัด * TARA BUSINESS Co.,Ltd.

35/87 หมู่2 ต.คลองสาม อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120 Tel. 02-832-3687 Fax. 02-832-3688

35/87 Moo2, Klongsaam, Klonglaung, Phatumtani, 12120 Tel. 02-832-3687 Fax. 02-832-3688

tarabusiness@hotmail.com, tarabusiness@gmail.com, www. Tarabusiness.com, www.facebook.com/pages/tara-business

E-mail : dosem24hr@hotmail.com, dosem24hr@gmail.com, wwwdosem24hr.com, wwwfacebook.com/pages/dosem24hr

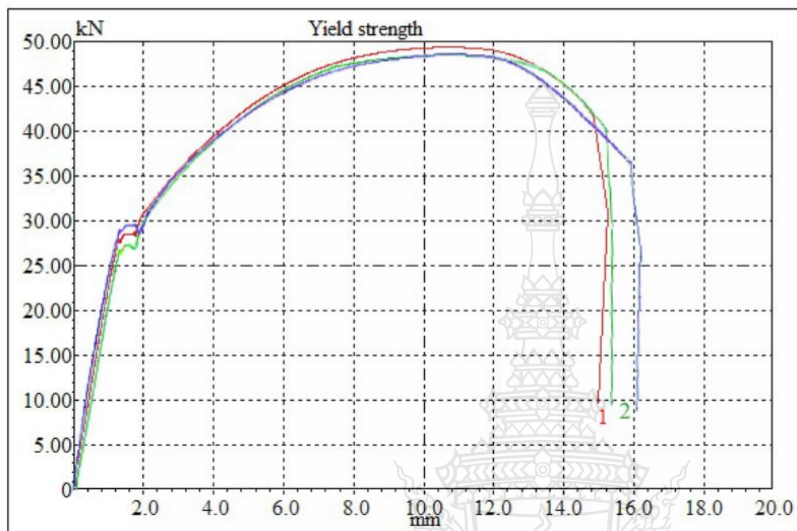


ภาคผนวก ค

กราฟแสดงผลการทดสอบแรงดึงวัสดุ

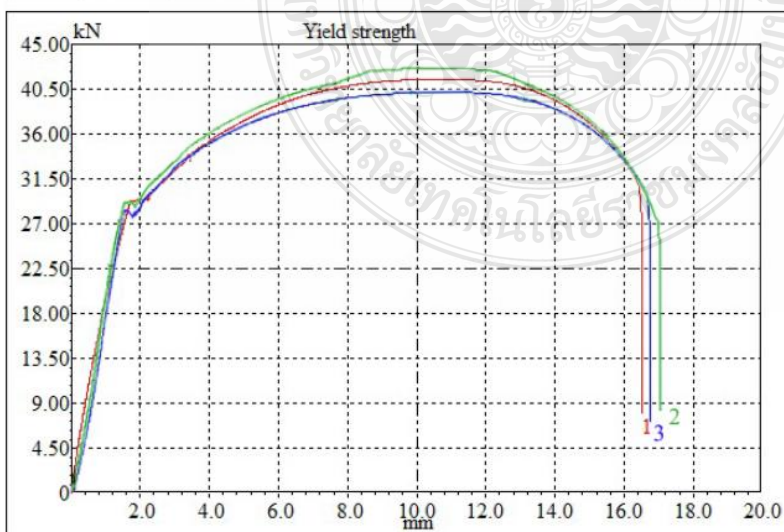
ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบแรงดึงเหล็กกล้า S45C

Test No.	Test date	Area mm ²	Max. Load kN	Tensile strength N/mm ²	Yield point kN	Yield strength N/mm ²	Elongation %
1	2019-01-0	64.48	49.38	765.85	25.71	398.77	19.00
2	2019-01-0	64.45	48.92	755.45	24.91	395.47	18.80
3	2019-01-0	64.88	49.75	760.15	28.31	394.71	20.10
---	---	---	---	---	---	---	---



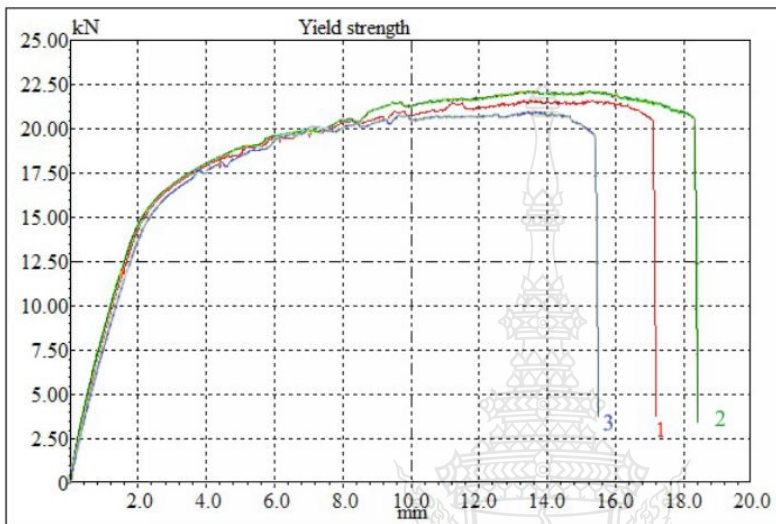
ตารางที่ ค.2 ผลการทดสอบแรงดึงเหล็กกล้า SCM440

Test No.	Test date	Area mm ²	Max. Load kN	Tensile strength N/mm ²	Yield point kN	Yield strength N/mm ²	Elongation %
1	2019-01-0	65.78	41.52	631.21	29.40	447.00	21.05
2	2019-01-0	65.44	42.21	630.47	28.65	445.02	20.65
3	2019-01-0	65.38	41.02	639.47	28.90	445.30	21.55



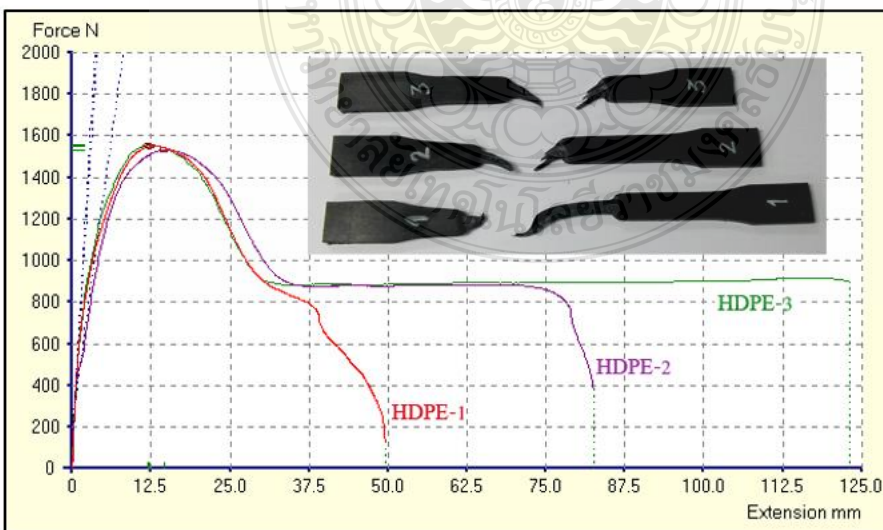
ตารางที่ ก.3 ผลการทดสอบแรงดึงอะลูมิเนียม 5083-H112

Test No.	Test date	Area mm ²	Max. Load kN	Tensile strength N/mm ²	Yield point kN	Yield strength N/mm ²	Elongation %
1	2019-01-0	67.08	21.61	322.19	12.11	180.49	20.18
2	2019-01-0	67.28	22.38	331.10	14.18	182.40	21.12
3	2019-01-0	67.58	20.89	312.19	11.80	170.89	19.95
---	---	---	---	---	---	---	---

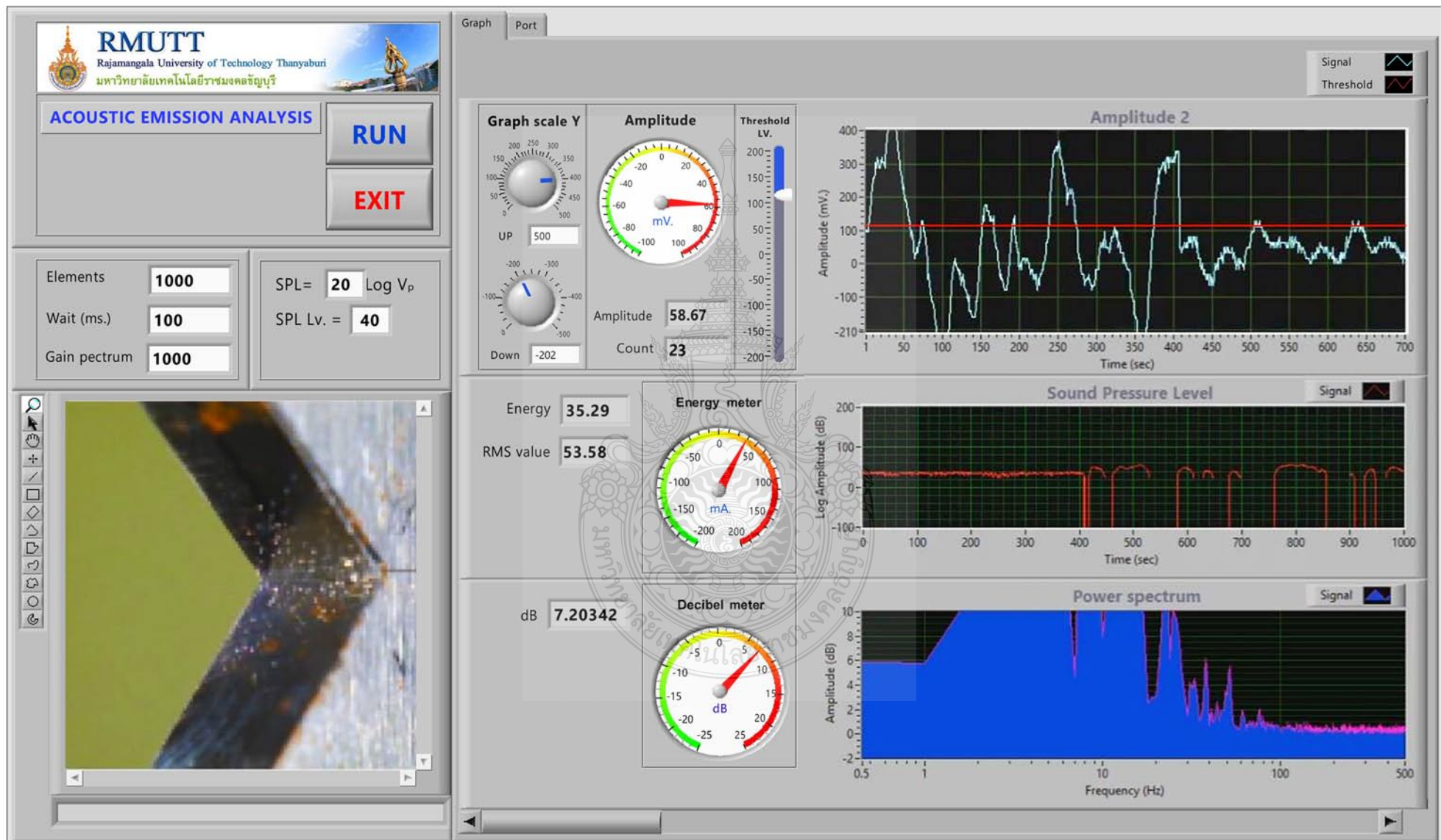


ตารางที่ ก.4 ผลการทดสอบแรงดึงพลาสติก High Density Polyethylene (HDPE)

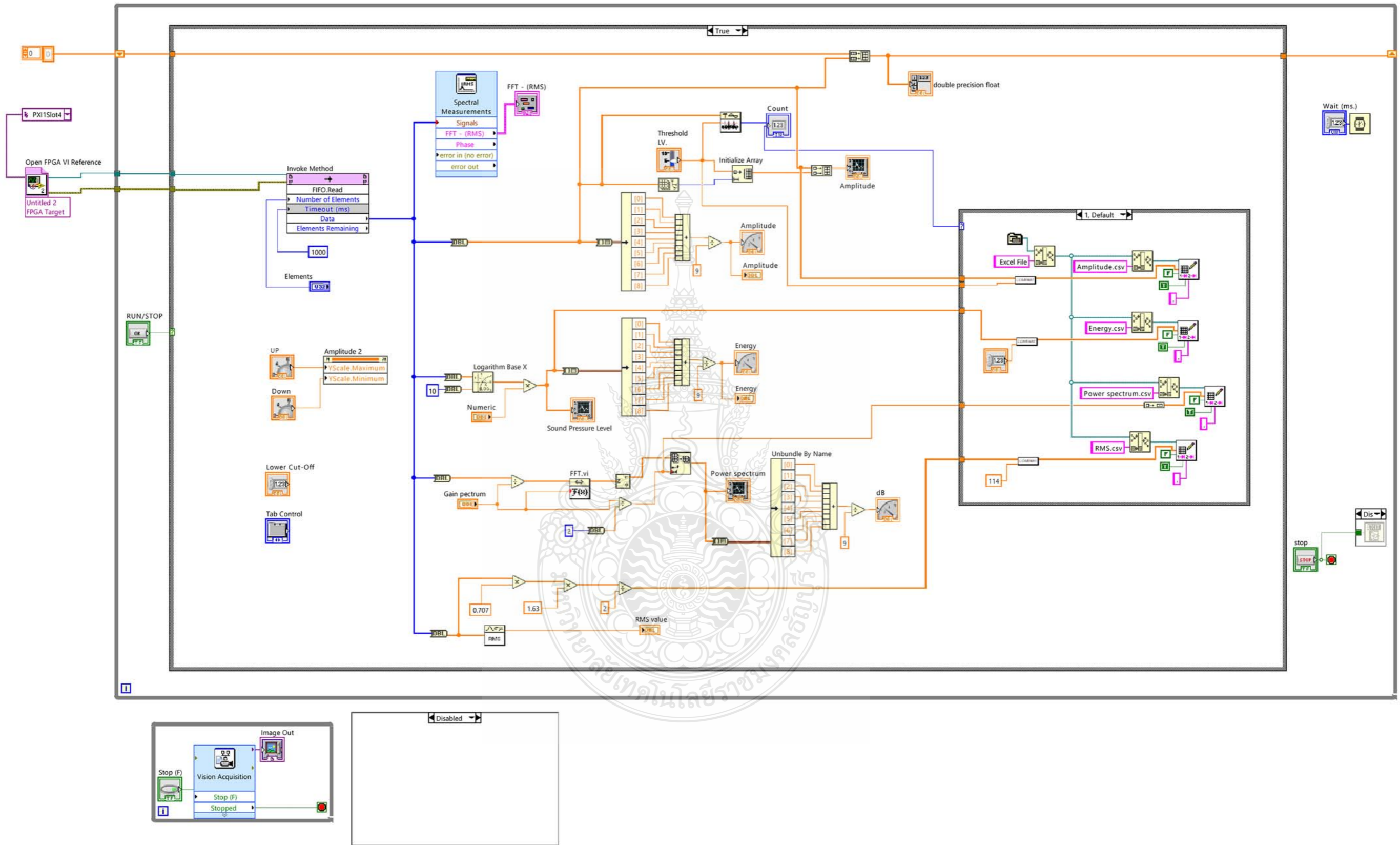
Test No.	Test date	Max. Load kN	E. Modulus MPa	Yield MPa	Max. stress MPa	Elong at Break
HDPE-1	2018-10-12	1.56	667	22.05	22.05	123
HDPE-2	2018-10-12	1.50	518	22.27	22.27	82.6
HDPE-3	2018-10-12	1.55	729	22.24	22.24	49.5







แบบคอนโทรลพาเนลการตรวจจับสัญญาณอะคูสติกส์อิมิชัน



แบบวงจรไดอะแกรมการวิเคราะห์คลื่นสัญญาณอะคูสติกส์อิมพัลส์



ภาคผนวก จ

ผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์

ตารางที่ จ.1 ผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์เหล็กกล้า S45C

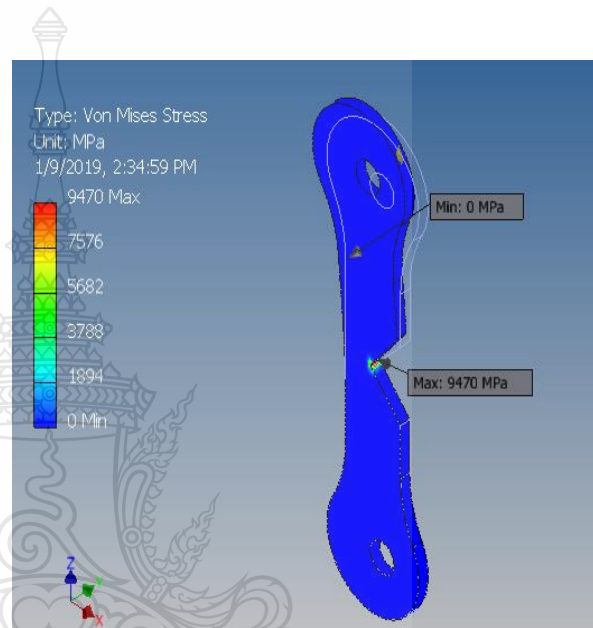
Analyzed File:	S45C.ipt
Autodesk Inventor Version:	2018 (Build 220112000, 112)
Creation Date:	1/9/2019, 2:34 PM
Study Author:	Ram Chatpuk

Project

Part Number	S45C
Designer	Ram Chatpuk
Cost	-
Date Created	1/9/2017

Physical

Material	Steel S45C, High Strength
Density	7.85 g/cm ³
Mass	0.259149 kg
Area	16000.2 mm ²
Volume	33012.6 mm ³
Center of Gravity	x=-0.57584 mm y=0 mm z=-0.0000000000546695 mm



Simulation:1

General objective and settings:

Design Objective	Single Point
Study Type	Static Analysis
Last Modification Date	1/9/2019, 2:32 PM
Detect and Eliminate Rigid Body Modes	Yes

Mesh settings:

Avg. Element Size (fraction of model diameter)	0.01
Min. Element Size (fraction of avg. size)	0.1
Grading Factor	1.5
Max. Turn Angle	60 deg
Create Curved Mesh Elements	Yes

Material(s)

Name	Steel	
General	Mass Density	7.85 g/cm ³
	Yield Strength	207 MPa
	Ultimate Tensile Strength	345 MPa
Stress	Young's Modulus	210 GPa
	Poisson's Ratio	0.3 ul
	Shear Modulus	80.7692 GPa
Part Name(s)	S45C.ipt	

Operating conditions Force:1

Load Type	Force
Magnitude	49380.000 N
Vector X	-0.000 N
Vector Y	0.000 N
Vector Z	49380.000 N

Results : Reaction Force and Moment on Constraints

Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Component (X,Y,Z)	Magnitude	Component (X,Y,Z)
Fixed Constraint:1	48089.8 N	0 N	30.4776 N/m	-30.4431 N/m
		3095.13 N		-0.387078 N/m
		-47990.1 N		1.39697 N/m
Frictionless Constraint:1	3398.77 N	0 N	206.007 N/m	-205.057 N/m
		-3097.56 N		6.40428 N/m
		-1398.85 N		-18.6924 N/m

ตารางที่ จ.2 ผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์เหล็กกล้า SCM440

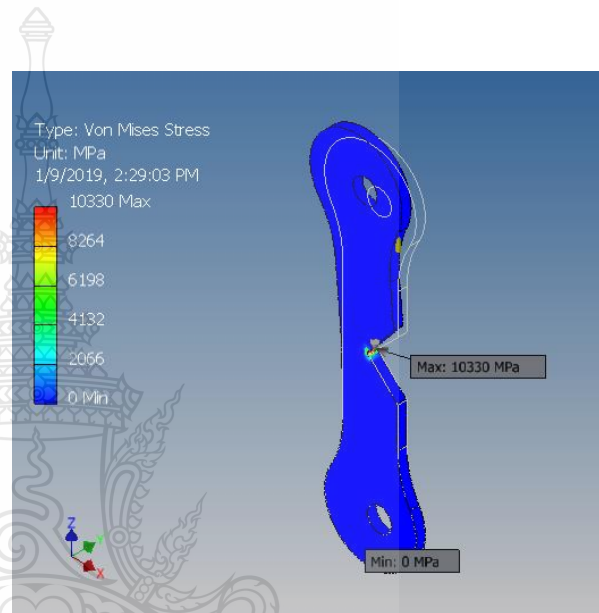
Analyzed File:	SCM440.ipt
Autodesk Inventor Version:	2018 (Build 220112000, 112)
Creation Date:	1/9/2019, 2:29 PM
Study Author:	Ram Chatpuk
Summary:	

Summary

Part Number	SCM440
Designer	Ram Chatpuk
Cost	-
Date Created	1/9/2019

Physical

Material	Steel SCM440, High Strength
Density	7.85 g/cm ³
Mass	0.259149 kg
Area	16000.2 mm ²
Volume	33012.6 mm ³
Center of Gravity	x=-0.57584 mm y=0 mm z=-0.0000000000546695 mm



Simulation:1

General objective and settings:

Design Objective	Single Point
Study Type	Static Analysis
Last Modification Date	1/9/2019, 2:25 PM
Detect and Eliminate Rigid Body Modes	Yes

Mesh settings:

Avg. Element Size (fraction of model diameter)	0.01
Min. Element Size (fraction of avg. size)	0.1
Grading Factor	1.5
Max. Turn Angle	60 deg
Create Curved Mesh Elements	Yes

Material(s)

Name	Steel	
General	Mass Density	7.85 g/cm ³
	Yield Strength	207 MPa
	Ultimate Tensile Strength	345 MPa
Stress	Young's Modulus	210 GPa
	Poisson's Ratio	0.3 ul
	Shear Modulus	80.7692 GPa
Part Name(s)	SCM440.ipt	

Operating conditions Force:1

Load Type	Force
Magnitude	41520.000 N
Vector X	0.000 N
Vector Y	0.000 N
Vector Z	41440.476 N

Results : Reaction Force and Moment on Constraints

Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Component (X,Y,Z)	Magnitude	Component (X,Y,Z)
Fixed Constraint:1	40404.5 N	2462.42 N	374.655 N/m	-28.0252 N/m
		3181.6 N		373.589 N/m
		-40203.7 N		3.49242 N/m
Frictionless Constraint:1	3421.41 N	102.168 N	214.982 N/m	-213.645 N/m
		-3183.98 N		10.4863 N/m
		-1248.16 N		-21.5201 N/m

ตารางที่ จ.3 ผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์อะลูมิเนียม 5083-H112

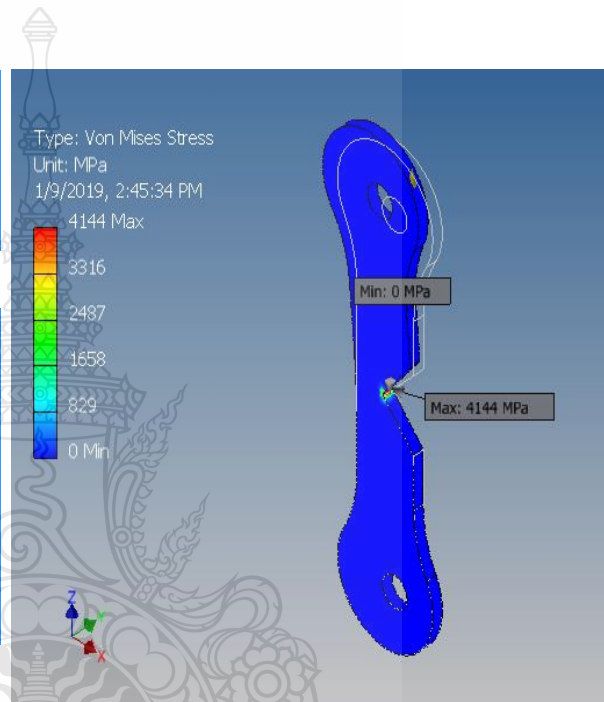
Analyzed File:	AL5083-H112.ipt
Autodesk Inventor Version:	2018 (Build 220112000, 112)
Creation Date:	1/9/2019, 2:45 PM
Study Author:	Ram Chatpuk
Summary:	

Project

Part Number	AL5083-H112
Designer	Ram Chatpuk
Cost	-
Date Created	1/9/2017

Physical

Material	Aluminum 5083-H112
Density	2.7 g/cm ³
Mass	0.0891339 kg
Area	16000.2 mm ²
Volume	33012.6 mm ³
Center of Gravity	x=-0.57584 mm y=0 mm z=-0.000000000546695 mm



Simulation:1

General objective and settings:

Design Objective	Single Point
Study Type	Static Analysis
Last Modification Date	1/9/2019, 2:39 PM
Detect and Eliminate Rigid Body Modes	Yes

Mesh settings:

Avg. Element Size (fraction of model diameter)	0.01
Min. Element Size (fraction of avg. size)	0.2
Grading Factor	1.5
Max. Turn Angle	60 deg
Create Curved Mesh Elements	Yes

Material(s)

Name	Aluminum 5083-H112	
General	Mass Density	2.7 g/cm ³
	Yield Strength	275 MPa
	Ultimate Tensile Strength	310 MPa
Stress	Young's Modulus	68.9 GPa
	Poisson's Ratio	0.33 ul
	Shear Modulus	25.9023 GPa
Part Name(s)	AL5083.ipt	

Operating conditions Force:1

Load Type	Force
Magnitude	21610.000 N
Vector X	0.000 N
Vector Y	0.000 N
Vector Z	21610.000 N

Results : Reaction Force and Moment on Constraints

Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Component (X,Y,Z)	Magnitude	Component (X,Y,Z)
Fixed Constraint:1	21045.4 N	0 N	14.735 N/m	-14.7186 N/m
		1494.02 N		-0.169473 N/m
		-21003.1 N		0.674514 N/m
Frictionless Constraint:1	1615.68 N	8.6896 N	99.2242 N/m	-98.7659 N/m
		-1495.57 N		3.03762 N/m
		-611.248 N		-9.02811 N/m

ตารางที่ จ.4 ผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์พลาสติก High density Polyethylene (HDPE)

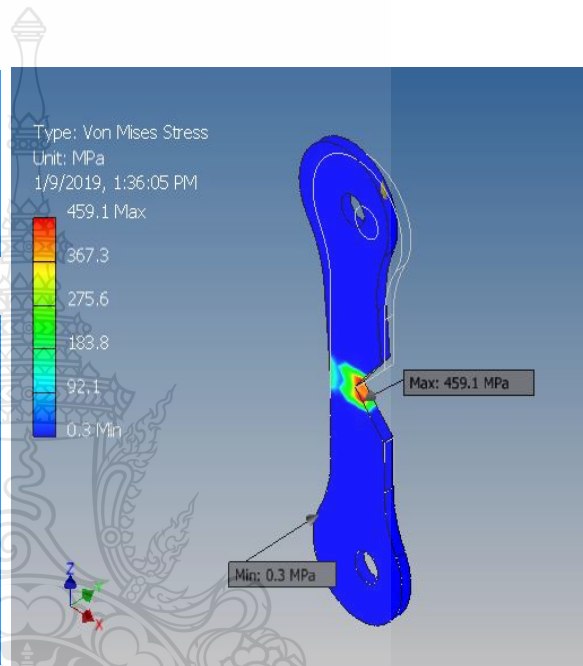
Analyzed File:	HDPE.ipt
Autodesk Inventor Version:	2018 (Build 220112000, 112)
Creation Date:	1/10/2019, 10:19 AM
Study Author:	Ram Chatpuk
Summary:	

Project

Part Number	High density Polyethylene
Designer	Ram Chatpuk
Cost	-
Date Created	1/10/2017

Physical

Material	Polyethylene, High Density	
Density	0.952 g/cm ³	
Mass	0.0314279 kg	
Area	16000.2 mm ²	
Volume	33012.6 mm ³	
Center of Gravity	x=-0.57584	mm
	y=0	mm
	z=-0.0000000000546695	mm



Simulation:1

General objective and settings:

Design Objective	Single Point
Study Type	Static Analysis
Last Modification Date	1/10/2019, 10:19 AM
Detect and Eliminate Rigid Body Modes	Yes

Mesh settings:

Avg. Element Size (fraction of model diameter)	0.01
Min. Element Size (fraction of avg. size)	0.2
Grading Factor	1.5
Max. Turn Angle	60 deg
Create Curved Mesh Elements	Yes

Material(s)

Name	Polyethylene, High Density	
General	Mass Density	0.952 g/cm ³
	Yield Strength	20.67 MPa
	Ultimate Tensile Strength	13.78 MPa
Stress	Young's Modulus	0.911 GPa
	Poisson's Ratio	0.392 ul
	Shear Modulus	0.327227 GPa
Part Name(s)	HDPE.ipt	

Operating conditions Force:1

Load Type	Force
Magnitude	1600.000 N
Vector X	0.000 N
Vector Y	0.000 N
Vector Z	1600.000 N

Results : Reaction Force and Moment on Constraints

Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Component (X,Y,Z)	Magnitude	Component (X,Y,Z)
Fixed Constraint:1	1560.91 N	0 N	1.32123 N m	-1.3198 N m
		132.874 N		-0.0124837 N m
		-1555.24 N		0.0601491 N m
Frictionless Constraint:1	140.313 N	0 N	8.81133 N m	-8.77266 N m
		-132.86 N		0.196403 N m
		-45.1221 N		-0.800845 N m

ภาคผนวก ฉ
บทความวิชาการที่ผ่านการนำเสนอและตีพิมพ์





วันที่ 27-28 มีนาคม 2562
ณ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

ABSTRACTS BOOK

การประชุมวิชาการระดับชาติ “วลัยลักษณ์วิจัย” ครั้งที่ 11
Walailak Research National Conference 2019





มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์



ขอขอบเกียรติบัตรฉบับนี้ไว้เพื่อแสดงว่า

ผลงานเรื่อง การศึกษารูปแบบสัญญาณอะคูสติกส์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการแตกหักของวัสดุ

โดย ราม ขวดีภักดิ์ และ ศิวกร อ่างทอง

ได้ร่วมนำเสนอผลงาน ภาคบรรยาย (Oral presentation) กลุ่มวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

การประชุมวิชาการระดับชาติ วลัยลักษณ์วิจัย ครั้งที่ 11

ให้ไว้ ณ วันที่ 28 เดือนมีนาคม พุทธศักราช 2562

(ศาสตราจารย์ น.สพ.ดร.อภินันท์ สุประเสริฐ)
รองอธิการบดีฝ่ายวิจัยและบริการสังคม

ประธานจัดการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุวดี วิทยพันธ์)
ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและนวัตกรรมการ

ประธานจัดการประชุมวิชาการระดับชาติ “วลัยลักษณ์วิจัย” ครั้งที่ 11

รายนามคณะกรรมการ

เพื่อให้การประชุมวิชาการระดับชาติ “วลัยลักษณ์วิจัย” ครั้งที่ 11 ประจำปี พ.ศ. 2562 ซึ่งจัดขึ้นระหว่างวันที่ 27-28 มีนาคม พ.ศ.2562 ณ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นไปด้วยความเรียบร้อย มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จึงแต่งตั้งคณะกรรมการจัดประชุมวิชาการระดับชาติ “วลัยลักษณ์วิจัย” ครั้งที่ 11 ซึ่งปรากฏรายชื่อตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

คณะกรรมการฝ่ายวิชาการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร สมบูรณ์บุรณะ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทรนรินทร์ สุภกร

อาจารย์ ดร.สมรักษ์ ชัยสิงห์กานานนท์

อาจารย์ ดร.พรรณศิริ คำโอ

อาจารย์ ดร.ภมรรัตน์ เกื้อเส้ง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ อธิไกริน

อาจารย์ ดร.กรวิทย์ อยู่สกุล

นางสาวรัชฎา คชแสงสันต์

นางปิ่นเพชร ภัคศิณรงค์

ผู้ทรงคุณวุฒิฝ่ายวิชาการจากมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

ผู้ทรงคุณวุฒิฝ่ายวิชาการจากหน่วยงานภายนอก

นายโกสินธุ์ ศิริรักษ์ (เลขานุการ)

นางลัดดาวัลย์ มนต์แก้ว (ผู้ช่วยเลขานุการ)

นางสาวสุจินดา ย่องเงิน (ผู้ช่วยเลขานุการ)



ลำดับบทความที่ ST.130

← → ↻ ปลอดภัย wjst.wu.ac.th/index.php/wjstsearch/issue/archive ☆ ↓ ⓘ ⋮

🔍 Google 📄 Google วิทยาฯ 🎧 Tech 📺 Ready Player One... 📺 Find the area under... 📺 ไม่เจอรูปไหน YouTub... 📄 Product | สินค้าคุณ... 📄 แอดค้นเป็น จากขั้นในสูญ...

Walailak Procedia

HOME ABOUT LOGIN REGISTER SEARCH CURRENT ARCHIVES

Home > Archives

Archives

2019

[Vol 2019, No 6 \(2019\): การจัดการ](#)
 การประชุมวิชาการระดับชาติ "วลัยลักษณ์วิจัย" ครั้งที่ 11 ระหว่างวันที่ 27-28 มีนาคม 2562 มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช
 บรรณาธิการประจำฉบับ: ชูสิทธิ์ คงเรือง, ศักดิ์ธรรม นานทอง และ อธิพงศ์ เวียงแพทอง

[Vol 2019, No 5 \(2019\): งานวิจัยเชิงพื้นที่](#)
 การประชุมวิชาการระดับชาติ "วลัยลักษณ์วิจัย" ครั้งที่ 11 ระหว่างวันที่ 27-28 มีนาคม 2562 มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช
 บรรณาธิการประจำฉบับ: รัชฎา คณเสงสันต์ และ ชินเพชร สักดิ์สิงห์

[Vol 2019, No 4 \(2019\): วิทยาศาสตร์สุขภาพ](#)
 การประชุมวิชาการระดับชาติ "วลัยลักษณ์วิจัย" ครั้งที่ 11 ระหว่างวันที่ 27-28 มีนาคม 2562 มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช
 บรรณาธิการประจำฉบับ: กรวิทย์ อุตสกุล, เพชรรัตน์ นฤธรรมแก้ว และ ศุภลักษณ์ ไชยศาล

➔ [Vol 2019, No 3 \(2019\): วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี](#)
 การประชุมวิชาการระดับชาติ "วลัยลักษณ์วิจัย" ครั้งที่ 11 ระหว่างวันที่ 27-28 มีนาคม 2562 มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช
 บรรณาธิการประจำฉบับ: พรรณิณี คำโอ และ นภาพร สุทธิเดช

[Vol 2019, No 2 \(2019\): มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์](#)
 การประชุมวิชาการระดับชาติ "วลัยลักษณ์วิจัย" ครั้งที่ 11 ระหว่างวันที่ 27-28 มีนาคม 2562 มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช
 บรรณาธิการประจำฉบับ: สิริพร สมบุญบุญรอด, ศักดิ์สิทธิ์ ศุภกร, สมลักษณ์ ชัยสิงห์กานานนท์ และ อารีชอล ขุนอินดี

[Vol 2019, No 1 \(2019\): The 4th Industrial Revolution and Its Impacts](#)
 International Conference on 4th Industrial Revolution and Its Impacts, 27-30 March 2019, Walailak University, Nakhon Si Thammarat, Thailand
 Issue Editor: Dr. CHITNARONG SIRISATHITKUL

USER

Username

Password

Remember me

NOTIFICATIONS

- [View](#)
- [Subscribe](#)

JOURNAL CONTENT

Search

Search Scope

Browse

- [By Issue](#)
- [By Author](#)
- [By Title](#)

FONT SIZE

INFORMATION

- [For Readers](#)
- [For Authors](#)
- [For Librarians](#)

การศึกษารูปแบบสัญญาณอะคูสติกส์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการแตกหักของวัสดุ

ราม ชาติภักดิ์ และ ศิวกร อ่างทอง

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
จังหวัดปทุมธานี 12110

ram.c@en.mutt.ac.th

บทคัดย่อ

การตรวจสอบความเสียหายของวัสดุด้วยการวัดสัญญาณอะคูสติกส์อีมิชชัน (Acoustic Emission, AE) เป็นวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing, NDT) ที่สามารถใช้ในการเฝ้าระวังความเสียหายของวัสดุขณะใช้งาน (Online Monitoring) โดยการตรวจจับพลังงานซึ่งอยู่ในรูปของคลื่นยืดหยุ่นแบบชั่วคราว (Transient Elastic Wave) ที่ปลดปล่อยสัญญาณจากรอยแตกของวัสดุ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาวิธีการตรวจสอบความเสียหายของวัสดุด้วยการวัดสัญญาณอะคูสติกส์อีมิชชัน และศึกษารูปแบบสัญญาณอะคูสติกส์อีมิชชันที่เกิดขึ้นในกระบวนการแตกหักของวัสดุ 3 ชนิด

ในการศึกษาวิจัยนี้ใช้เครื่องมือวัดสัญญาณอะคูสติกส์อีมิชชันประกอบด้วยหัวตรวจสอบ (Sensor) อุปกรณ์ขยายสัญญาณ (Pre Amplifier) และอุปกรณ์ประมวลผล (Acoustic Emission Analyzer) ทำการวัดสัญญาณอะคูสติกส์อีมิชชันที่เกิดขึ้นขณะขึ้นงานทดสอบอยู่ภายใต้แรงดึงที่เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ (5 มิลลิเมตร/นาที) จนกระทั่งชิ้นงานเกิดความเสียหายที่บริเวณมุมบาก ที่เกิดเป็นรอยแตกแล้วเพิ่มขึ้นจนกระทั่งชิ้นงานแตกออกจากกัน ซึ่งสัญญาณอะคูสติกส์อีมิชชันขณะทำการทดสอบจะถูกบันทึกค่าสัญญาณ ตั้งแต่เริ่มต้นทดสอบไปจนถึงงานแตกออกจากกัน โดยใช้โปรแกรม Labview ประมวลผล และแสดงค่าแอมพลิจูด, Root Mean Square (RMS) และ Energy ของสัญญาณ AE เพื่อวิเคราะห์ผลการทดสอบ ซึ่งในการทดสอบจะกระทำกับวัสดุต่างกัน 3 ชนิดคือ วัสดุเหล็ก(SCM440) อลูมิเนียม (5083-H112) และพลาสติก(High density polyethylene, HDPE)

จากการทดสอบพบว่าลักษณะสัญญาณอะคูสติกส์อีมิชชันที่ตรวจพบขณะขึ้นงานอยู่ภายใต้แรงดึงมีความสัมพันธ์กับขนาดของแรงที่ให้กับชิ้นงาน และชนิดของวัสดุที่ใช้ทดลอง เช่น วัสดุเหล็ก SCM440 มีค่าแอมพลิจูดที่ 460 mV. และ อลูมิเนียม 5083-H112 มีค่าแอมพลิจูดที่ 290 mV. ที่จุด Yield point ซึ่งเป็นวัสดุมีขนาดแอมพลิจูดเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจนเมื่อเริ่มให้แรงกระทำต่อวัสดุ แต่ในขณะที่วัสดุพลาสติก High density polyethylene (HDPE) จะไม่พบว่ามีระดับความเปลี่ยนแปลงขนาดแอมพลิจูดเหนือเทรชโฮลด์อย่างชัดเจน

คำสำคัญ: อะคูสติกส์อีมิชชัน, แตกหัก, สัญญาณ, แรงดึง, แอมพลิจูด, เทรชโฮลด์

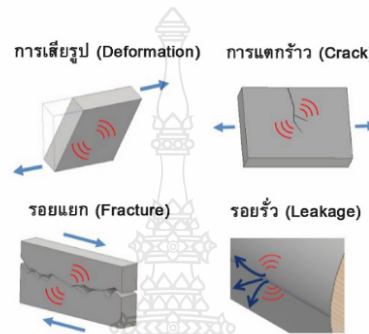
บทนำ

ทางวิศวกรรมตรวจสอบการใช้งานผลิตภัณฑ์มีหลากหลายวิธีการ และวิธีการตรวจสอบโดยการจับคลื่นสัญญาณอะคูสติกส์อีมิชชัน (Acoustic Emission : AE) เป็นอีกวิธีหนึ่งของการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive testing : NDT) (ASTM E1316-99a, 1999) ที่สามารถตรวจจับสภาพการใช้งานผลิตภัณฑ์ได้ในลักษณะการตรวจสอบแบบ Real time ด้วยหลักการตรวจหาแหล่งคลื่นสัญญาณเสียง ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของวัสดุ โดยการให้หัวตรวจจับคลื่นสัญญาณอะคูสติกส์จากจุดที่มีการเริ่มเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ เช่น การแตกหัก หรือตำแหน่งที่มีการเชื่อมสภาพ หัวตรวจวัดคลื่นสัญญาณอะคูสติกส์จะรับคลื่นสัญญาณที่เดินทางตามโครงสร้างวัสดุเพื่อแปลงเป็นไฟฟ้า ส่งเข้าสู่ระบบประมวลผลสัญญาณ และแสดงรูปแบบกราฟเส้นบนจอคอมพิวเตอร์ เพื่อวิเคราะห์รูปแบบกราฟที่ได้จากความเสียหายในโครงสร้างวัสดุ

ปัจจุบันวัสดุทางวิศวกรรม (Ai, 2015) มีการแบ่งกลุ่มตามรูปแบบคุณสมบัติของวัสดุศาสตร์หรือรูปแบบการใช้งานของกลุ่มวัสดุ เพื่อสร้างนวัตกรรมที่ให้คุณค่า เป็นประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจสู่การพัฒนาคุณภาพชีวิตในหลายๆด้าน แต่ในทางธรรมชาติของวัสดุต่างๆสามารถเกิดการเชื่อมสภาพได้ทุกเมื่อ ซึ่งจะส่งผลต่อสภาพความแข็งแรงของวัสดุและอายุการใช้งาน

ตามระยะเวลาการใช้งาน ดังนั้นการตรวจสอบสภาพการใช้งานจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อเป็นการป้องกันปัญหาที่จะเกิดความเสี่ยงต่อการใช้งาน

การใช้วิธีอะคูสติกส์มีซันเป็นวิธีหนึ่งในการตรวจวิเคราะห์หาจุดบกพร่องเพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ ในการศึกษาคลื่นสัญญาณอะคูสติกส์ที่เกิดขึ้น จากพฤติกรรมความเสียหายที่เกิดเป็นความเค้นภายในวัสดุ (Hertzberg, 1996) ดังรูปที่ 1 จากการดึงชิ้นงานด้วยกลไกเชิงกลทำให้โครงสร้างภายในวัสดุมีการยืดตัวออกอย่างช้าๆเกิดเป็นการแตกร้าวในที่สุด



รูปที่ 1 รูปแบบความเสียหายแบบต่างๆ ที่เกิดเป็นสัญญาณอะคูสติกส์มีซัน

เป็นผลให้เกิดแหล่งสัญญาณอะคูสติกส์มีซัน เกิดขึ้น คลื่นสัญญาณอะคูสติกส์ที่ได้จะถูกแปลงสัญญาณเป็นไฟฟ้าที่ประมวลผลด้วยโปรแกรม Labview เพื่อแสดงเป็นกราฟสัญญาณแอมพลิจูด เพื่อศึกษาความแตกต่างที่เกิดขึ้นของวัสดุต่างชนิดกัน ที่แสดงผลรูปแบบของคลื่นสัญญาณที่ตรวจวัดได้ ที่มีผลเกิดขึ้นต่อพฤติกรรมของโครงสร้างวัสดุ ขณะเริ่มเสียรูปของชิ้นงานทดสอบ

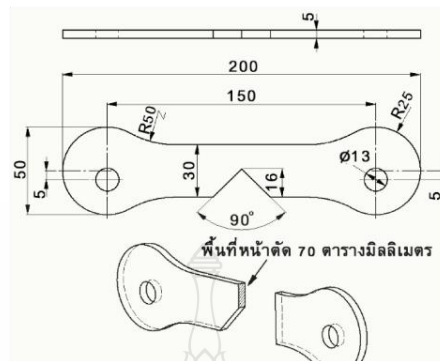
วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

ในงานทดลองได้แบ่งวัสดุเป็น 3 ชนิด ดังนี้ เหล็ก SCM440, อลูมิเนียม 5083-H112 และพลาสติก High Density polyethylene (HDPE) จัดทำชิ้นงานทดสอบ (ASTM D 638-02a, 1941) โดยวิธีการแมชชีนขึ้นรูป ดังรูปที่ 2 ด้วยเครื่องซีเอ็นซีมิลลิ่ง ให้มีขนาดรูปร่างเท่ากัน จำนวน 5 ชิ้นต่อวัสดุหนึ่งชนิด และมีการทำมุมบาก 90 องศา เพื่อให้การแตกร้าวเริ่มเกิดขึ้นที่มุมบากกำหนด

2. การตั้งค่าพารามิเตอร์และคาลิเบรชันสัญญาณ

การศึกษารูปแบบคลื่นสัญญาณอะคูสติกส์ของวัสดุใช้เครื่อง NI PXIe-1073 เป็นเครื่องมือบันทึกการตรวจวัดสัญญาณอะคูสติกส์ โดยประมวลผลผ่านโปรแกรม Labview ที่ออกแบบสร้างไต่อะแกรมและอินเตอร์เฟซ (Larsen, 2011)



รูปที่ 2 ขนาดชิ้นงานตัดขึ้นรูป

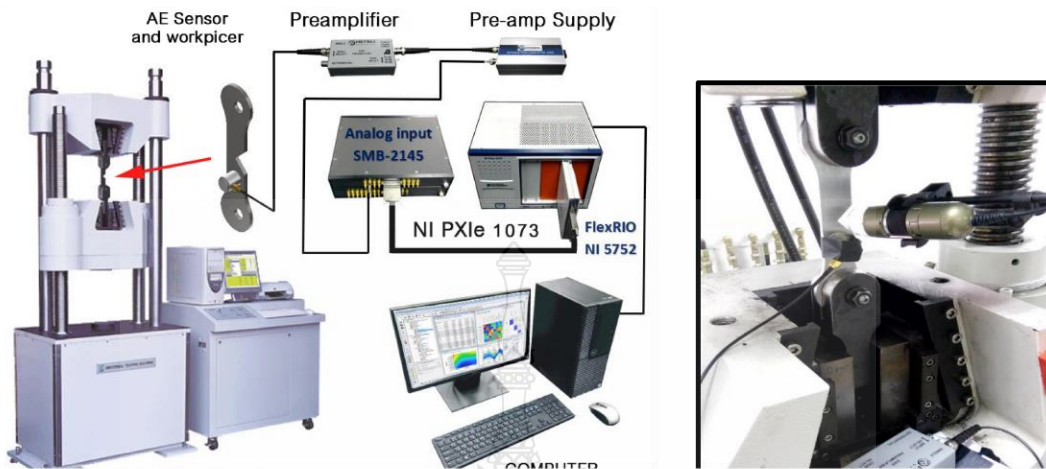
เพื่อวัดคลื่นสัญญาณแอมพลิฟายด์ จะต้องทำการคาลิเบรชันทดสอบหาช่วงของสัญญาณแอมพลิฟายด์จากวัสดุแต่ละชนิด เพื่อใช้ในการตั้งค่าพารามิเตอร์สเกลในโปรแกรม จากชิ้นงานทดสอบทั้ง 3 ชนิด ด้วยวิธีการหักไส้ดินสอด (HB ขนาด 0.5 มิลลิเมตร) (ASTM E 976-84, 1988) ดังรูปที่ 3 เมื่อปรับตั้งค่าสเกลในกราฟและเทรซโซลด์เรียบร้อยแล้ว จึงทำการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ให้พร้อมทำการทดสอบต่อไป



รูปที่ 3 การคาลิเบรชันชิ้นงานหาค่าแอมพลิฟายด์สูงสุด

3. การทดสอบดึงชิ้นงานตรวจวัดคลื่นสัญญาณ

จากรูปที่ 4 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ในการตรวจวัดคลื่นสัญญาณอะคูสติคส์อิมิชชันจากชิ้นงานทดสอบแรงดึง ในการทดสอบกำหนดเงื่อนไขในการทดลองไว้ 3 เงื่อนไข คือ ความเร็วดึงชิ้นงาน, เทรซโซลด์, เวลาในการดึงชิ้นงาน ดังตารางที่ 1 โดยทดสอบชิ้นงานวัสดุหลัก SCM440, อลูมิเนียม 5083-H112, พลาสติก High Density Polyethylene (HDPE) ตามลำดับ



รูปที่ 4 รูปแบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณอะคูสติกส์อีมีชัน

ตารางที่ 1 ขอบเขตการทดลอง

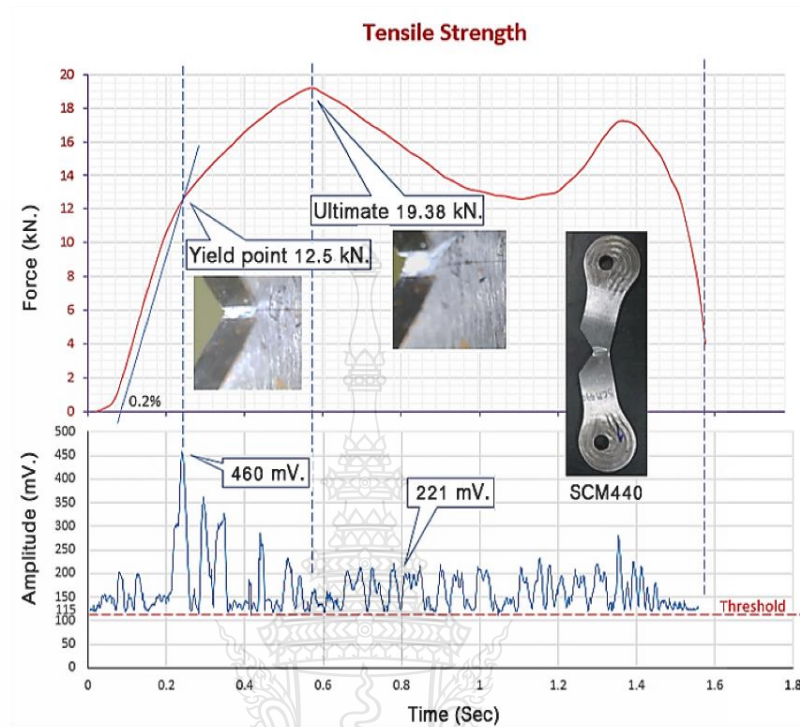
รายการ	ค่าเงื่อนไข
ความเร็วดึงชิ้นงาน	5 มิลลิเมตรต่อวินาที
เทรชโฮลด์	115 mV
เวลาในการดึงชิ้นงาน	1 นาที

ผลและอภิปรายผล

จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นผลการทดลองของค่าแรงดึงที่มีผลต่อค่าสัญญาณแอมพลิจูดที่เกิดขึ้นมีความแตกต่างกันตามชนิดของวัสดุเหล็ก SCM440, อลูมิเนียม 5083-H112, พลาสติก High Density Polyethylene (HDPE) ตามลำดับ ซึ่งแสดงผลการทดลองที่ได้ดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์ค่าแรงดึงที่มีผลต่อสัญญาณแอมพลิจูดของวัสดุเหล็ก SCM440

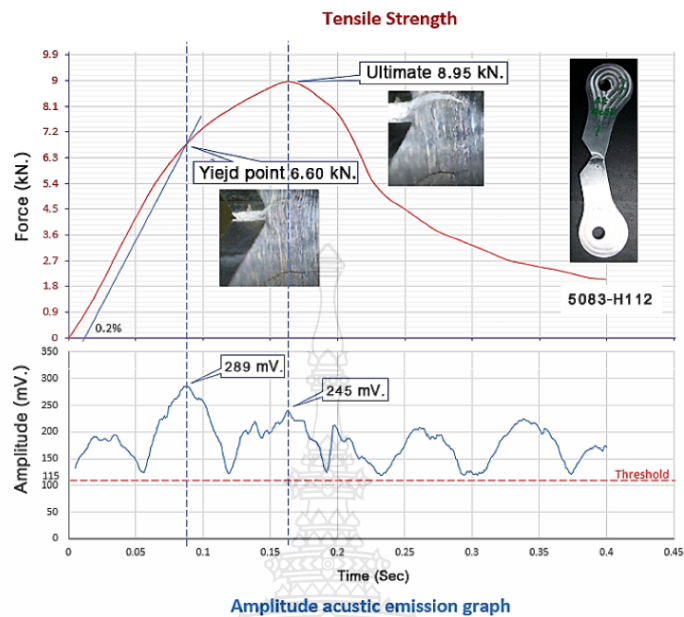
จากความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่มีผลต่อสัญญาณแอมพลิจูดที่เกิดขึ้นในวัสดุ SCM440 ดังรูปที่ 5 แสดงให้เห็นค่าสัญญาณที่เกิดจากความเค้นแรงดึงเกิดขึ้น เมื่อวัสดุได้รับแรงดึงทำให้เกิดเป็นความเครียดเกิดขึ้นในโครงสร้างจุลภาคและเกิดเป็นการแตกร้าวในที่สุด จากกราฟของวัสดุ SCM440 แสดงค่าแรงดึงที่จุด Yield point 12.5 kN พบว่าเกิดสัญญาณอะคูสติกส์อีมีชันที่มีค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่ 460 mV แสดงให้เห็นว่ากราฟสัญญาณแอมพลิจูดมีระดับเคาน์สัญญาณที่ค่อย ๆ สูงขึ้น มีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเข้าใกล้จุด Yield point และลดลงเป็นระดับเมื่อเข้าสู่จุด Ultimate point ของวัสดุ



รูปที่ 5 กราฟค่าแรงดึงวัสดุเหล็ก SCM440

2. ผลการวิเคราะห์ค่าแรงดึงที่มีผลต่อสัญญาณแอมพลิจูดของวัสดุลูมิเนียม 5083-H112

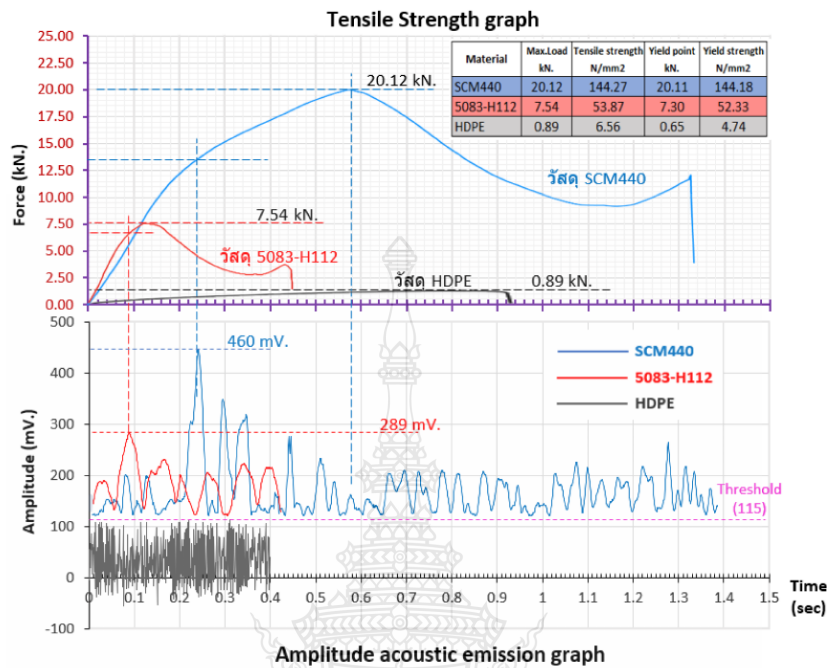
จากความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่มีผลต่อสัญญาณแอมพลิจูดที่เกิดขึ้นในวัสดุลูมิเนียม 5083-H112 ดังรูปที่ 6 สามารถนำเสนอเป็นกราฟได้ตั้งนี้จากความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุด Yield point 6.60 kN พบว่าเกิดสัญญาณอะคูสติกล้อมีขั้วขึ้นที่มีแอมพลิจูดสูงสุดที่ 289 mV แสดงให้เห็นสัญญาณแอมพลิจูดมีรูปแบบเคาน์สัญญาณไม่สูงแหลม มีแนวโน้มการเพิ่มสูงอย่างช้าๆของสัญญาณ เมื่อเข้าสู่จุด Yield point และลดลงเมื่อเข้าสู่จุด Ultimate point ของวัสดุ



รูปที่ 6 กราฟค่าแรงดึงวัสดุอลูมิเนียม 5083-H112

3. ผลการวิเคราะห์ค่าแรงดึงที่มีผลต่อสัญญาณแอมพลิจูดของวัสดุพลาสติก High density polyethylene (HDPE)

จากความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่มีผลต่อสัญญาณแอมพลิจูดที่เกิดขึ้นในวัสดุพลาสติก High density polyethylene (HDPE) เมื่อค่าแรงดึงสูงสุดของวัสดุแสดงค่าที่จุด Yield point 0.64 kN และไม่แสดงสัญญาณอะคูสติกส์มีชั้นเหนือระดับเทรชโฮลด์ จนกระทั่งชิ้นงานเกิดการแตกหักและขาดจากกัน



รูปที่ 7 กราฟเปรียบเทียบแสดงค่าแรงดึงวัสดุเหล็ก SCM440,อลูมิเนียม 5083-H112, พลาสติก High Density Polyethylene (HDPE) ที่มีผลต่อการเกิดสัญญาณแอมพลิจูด

สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบพบว่าลักษณะสัญญาณแอมพลิจูด ที่ตรวจพบภายใต้แรงดึงเกิดเป็นความเค้นที่มุ่มมาก มีความสัมพันธ์ต่อการเกิดสัญญาณอะคูสติกส์ที่โครงสร้างจุลภาค ในวัสดุเหล็ก SCM440 และ อลูมิเนียม 5083-H112 จะมีขนาดแอมพลิจูดที่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจนในช่วงเริ่มต้นของกราฟสัญญาณแอมพลิจูด เป็นผลจากแรงกระทำต่อโครงสร้างผลึก เมื่อวัสดุเหล็ก SCM440 มีโครงสร้างผลึกแบบ BCC ทำให้การปลดปล่อยสัญญาณแอมพลิจูดมีค่าสูงถึง 460 mV ในวัสดุที่มีความแข็งและเหนียว และจะมีค่าสัญญาณที่ต่ำลงในวัสดุที่มีความเหนียวแต่มีความแข็งแรงน้อยกว่าเช่นวัสดุอลูมิเนียมที่มีโครงสร้างแบบ FCC มีค่าสัญญาณแอมพลิจูดที่ 290 mV ดังรูปที่ 7 แต่ในขณะที่วัสดุพลาสติก High density polyethylene (HDPE) จะไม่พบว่ามึระดับความเปลี่ยนแปลงขนาดแอมพลิจูดอย่างชัดเจน เป็นผลจากโครงสร้างของพลาสติกเป็นแบบเส้นใยทำให้สามารถยืดตัวออกได้ง่ายและมีแรงยึดเกาะในโครงสร้างน้อย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มทร.ธัญบุรี งบประมาณประจำปี 2561 และภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บรรณานุกรม

- Ai, Y., Sun, C., Que, H. & Zhang, W. (2015). Investigation of material performance degradation for high-strength aluminum alloy using acoustic emission method. *Journal Metals*, 5, 228-238.
- ASTM. D 638-02a. (1941). Standard test method for tensile properties of plastics. ASTM International: United States.
- ASTM. E 1316-99a. (1999). Standard terminology for nondestructive examinations, annual book of ASTM standards Vol 3. USA: ASTM International.
- ASTM. E 976-84. (1988). Standard guide for determining the reproducibility of acoustic emission sensor response: United States.
- Hertzberg, R.W., Vinci, R.P., & Hertzberg J.L. (1996). Deformation and fracture mechanics of engineering materials. Canada: John Wiley & Sons.
- Larsen, R.W. (2011). LabView for engineers. New Jersey: Prentice Hal.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายราม ชาติภักต์
ชื่อปริญญาบัตร(ไทย)	การศึกษารูปแบบสัญญาณอะคูสติกส์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการแตกหักของวัสดุ
Thesis (English)	A Study of Acoustic Emission Waves Characteristics Generated in Fracturing Process of Materials
สาขาวิชา	วิศวกรรมการผลิต (Manufacturing Engineer / M.Eng)
วัน เดือน ปีเกิด	15 กุมภาพันธ์ 2522
สถานที่เกิด	บ้านเลขที่ 21/1 หมู่ที่ 5 ตำบลบางตะบูน อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี 76110
ประวัติการศึกษา	
ระดับมัธยมศึกษา	มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนวัดคงคาราม พ.ศ. 2535
ระดับอนุปริญญา	ประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาช่างกลโรงงาน วิทยาลัยเทคนิคเพชรบุรี พ.ศ. 2539 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาช่างกลโรงงาน-งานซ่อมบำรุงเครื่องจักรกล สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตพระนครเหนือ พ.ศ.2542
ระดับปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี พ.ศ.2549
ระดับปริญญาโท	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต (M.Eng) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี พ.ศ.2561