การศึกษารูปแบบสัญญาณอะคูสติกส์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการแตกหักของวัสดุ

ราม ชาติภุกต์* และ ศิวกร อ่างทอง

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
จังหวัดปทุมธานี 12110

*ram.c@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

การตรวจสอบความเสียหายของวัสดุด้วยการวัดสัญญาณอะคูสติกส์อีมิชชั่น (Acoustic Emission, AE) เป็นวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing, NDT) ที่สามารถใช้ในการเฝ้าระวังความเสียหายของวัสดุขณะใช้งาน (Online Monitoring) โดยการตรวจจับพลังงานซึ่งอยู่ในรูปของคลื่นยืดหยุ่นแบบชั่วครู่ (Transient Elastic Wave) ที่ปลดปล่อยสัญญาณจากรอยบกพร่องของวัสดุ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาวิธีการตรวจสอบความเสียหายของวัสดุด้วยการวัดสัญญาณอะคูสติกส์อีมิชชั่น และการศึกษารูปแบบสัญญาณอะคูสติกส์อีมิชชั่นที่เกิดขึ้นในกระบวนการแตกร้าวของวัสดุ 3 ชนิด

ในการศึกษาวิจัยนี้ใช้เครื่องมือวัดสัญญาณอะคูสติกส์อีมิชชั่นประกอบด้วยหัวตรวจสอบ (Sensor) อุปกรณ์ขยายสัญญาณ (Pre Amplifier) และอุปกรณ์ประมวลผล (Acoustic Emission Analyzer) ทำการวัดสัญญาณอะคูสติกส์อีมิชชั่นที่เกิดขึ้นขณะชิ้นงานทดสอบอยู่ภายใต้แรงดึงที่เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ (5 มิลลิเมตร/นาที) จนกระทั่งชิ้นงานเกิดความเสียหายที่บริเวณมุมบาก ที่เกิดเป็นรอยแตกร้าวเพิ่มขึ้นจนกระทั่งชิ้นงานฉีกขาดออกจากกัน ซึ่งสัญญาณอะคูสติกส์ที่เกิดขึ้นขณะทำการทดสอบจะถูกบันทึกค่าสัญญาณ ตั้งแต่เริ่มต้นทดสอบไปจนชิ้นงานฉีกขาดออกจากกัน 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)

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

คำสำคัญ: อะคูสติกส์อีมิชชั่น, แตกร้าว, สัญญาณ, แรงดึง, แอมพลิจูด, เทรชโชลด์

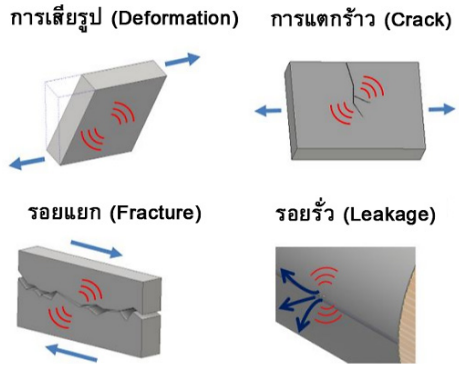
บทนำ

ทางวิศวกรรมการตรวจสอบการใช้งานผลิตภัณฑ์มีหลากหลายวิธีการ และวิธีการตรวจสอบโดยการจับคลื่นสัญญาณอะคูสติกส์อีมิชชั่น (Acoustic Emission : AE) เป็นอีกวิธีหนึ่งของการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive testing : NDT) (ASTM E1316-99a,1999) ที่สามารถตรวจจับสภาพการใช้งานผลิตภัณฑ์ได้ในลักษณะการตรวจสอบแบบ Real time ด้วยหลักการตรวจหาแหล่งคลื่นสัญญาณเสียง ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของวัสดุ โดยการใช้หัวตรวจจับคลื่นสัญญาณอะคูสติกส์จากจุดที่มีการเริ่มเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ เช่น การแตกร้าว หรือตำแหน่งที่มีการเสื่อมสภาพ หัวตรวจวัดคลื่นสัญญาณอะคูสติกส์จะรับคลื่นสัญญาณที่เดินทางตามโครงสร้างวัสดุเพื่อแปลงเป็นไฟฟ้า ส่งเข้าสู่ระบบประมวลคลื่นสัญญาณ และแสดงรูปแบบกราฟเส้นบนจอคอมพิวเตอร์ เพื่อวิเคราะห์รูปแบบกราฟที่ได้จากความเสียหายในโครงสร้างวัสดุ

ปัจจุบันวัสดุทางวิศวกรรม (Ai, 2015) มีการแบ่งกลุ่มตามรูปแบบคุณสมบัติของวัสดุศาสตร์หรือรูปแบบการใช้งานของกลุ่มวัสดุ เพื่อสร้างนวัตกรรมที่ให้คุณค่า เป็นประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจสู่การพัฒนาคุณภาพชีวิตในหลายๆด้าน แต่ในทางธรรมชาติของวัสดุต่างๆสามารถเกิดการเสื่อมสภาพได้ทุกเมื่อ ซึ่งจะส่งผลต่อสภาพความแข็งแรงของวัสดุและอายุการใช้งาน

ตามระยะเวลาการใช้งาน ดังนั้นการตรวจสอบสภาพการใช้งานจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อเป็นการป้องกันปัญหาก่อนที่จะเกิดความเสียหายต่อการใช้งาน

การใช้วิธีอะคูสติกส์อีมิชชั่นเป็นวิธีหนึ่งในการตรวจวิเคราะห์หาจุดบกพร่องเพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ ในการศึกษาคลื่นสัญญาณอะคูสติกส์ที่เกิดขึ้น จากพฤติกรรมความเสียหายที่เกิดเป็นความเค้นภายในวัสดุ (Hertzberg, 1996) ดังรูปที่ 1 จากการดึงชิ้นงานด้วยกลไกเชิงกลทำให้โครงสร้างภายในวัสดุมีการยืดตัวออกอย่างช้าเกิดเป็นการแตกร้าวในที่สุด



รูปที่ 1 รูปแบบความเสียหายแบบต่างๆ ที่เกิดเป็นสัญญาณอะคูสติกส์อีมิชชั่น

เป็นผลให้เกิดแหล่งสัญญาณอะคูสติกส์อีมิชชั่น เกิดขึ้น คลื่นสัญญาณอะคูสติกส์ที่ได้จะถูกแปลงสัญญาณเป็นไฟฟ้าที่ประมวลผลด้วยโปรแกรม Labview เพื่อแสดงเป็นกราฟสัญญาณแอมพลิจูด เพื่อศึกษาความแตกต่างที่เกิดขึ้นของวัสดุต่างชนิดกัน ที่แสดงผลรูปแบบของคลื่นสัญญาณที่ตรวจวัดได้ ที่มีผลเกิดขึ้นต่อพฤติกรรมของโครงสร้างวัสดุ ขณะเริ่มเสียรูปของชิ้นงานทดสอบ

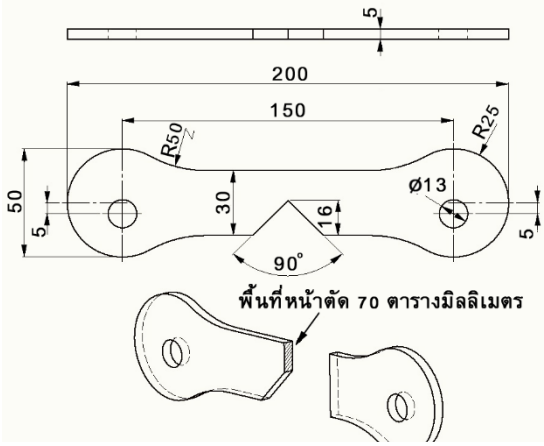
วิธีการดำเนินงานวิจัย

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

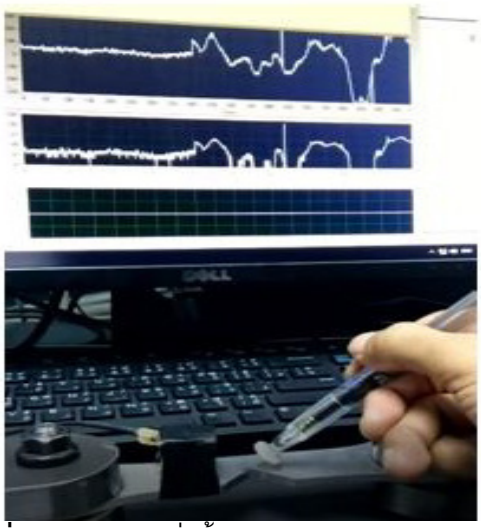
2. การตั้งค่าพารามิเตอร์และคาลิเบรชั่นสัญญาณ

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



รูปที่ 2 ขนาดชิ้นงานตัดขึ้นรูป

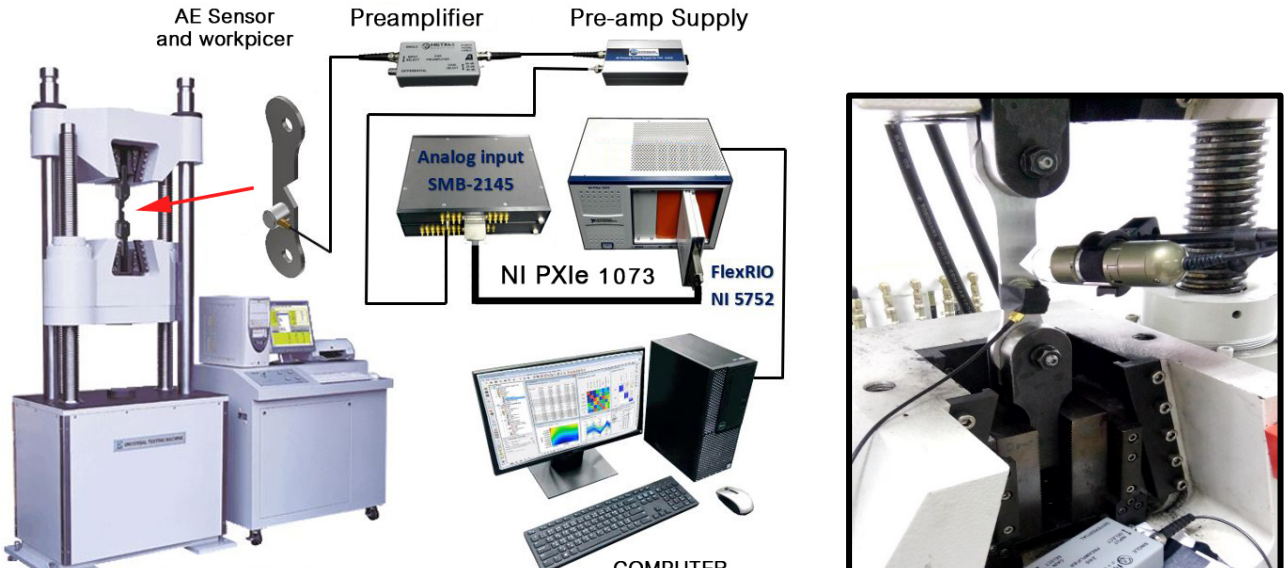
เพื่อวัดคลื่นสัญญาณแอมพลิจูด จะต้องทำการคาลิเบรชั่นทดสอบหาช่วงของสัญญาณแอมพลิจูดจากวัสดุแต่ละชนิด เพื่อใช้ในการตั้งค่าพารามิเตอร์สเกลในโปรแกรม จากชิ้นงานทดสอบทั้ง 3 ชนิด ด้วยวิธีการหักไส้ดินสอ (HB ขนาด 0.5 มิลลิเมตร) (ASTM E 976-84, 1988) ดังรูปที่ 3 เมื่อปรับตั้งค่าสเกลในกราฟและเทรชโชลด์เรียบร้อยแล้ว จึงทำการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ให้พร้อมทำการทดสอบต่อไป



รูปที่ 3 การคาลิเบรชั่นชิ้นงานหาค่าแอมพลิจูดสูงสุด

3. การทดสอบดึงชิ้นงานตรวจวัดคลื่นสัญญาณ

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



รูปที่ 4 รูปแบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณอะคูสติกส์อีมิชชั่น

ตารางที่ 1 ขอบเขตการทดลอง

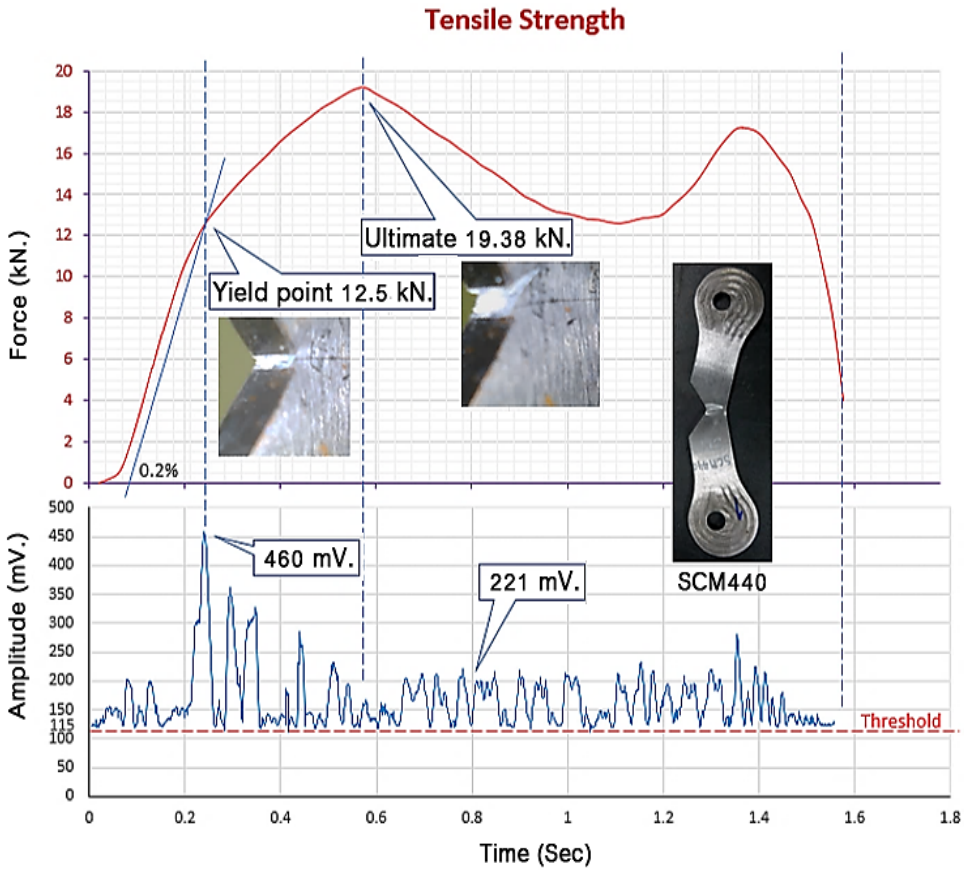
รายการ	ค่าเงื่อนไข
ความเร็วดึงชิ้นงาน	5 มิลลิเมตรต่อนาที
เทรชโชลด์	115 mV
เวลาในการดึงชิ้นงาน	1 นาที

ผลและอภิปรายผล

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

1. ผลการวิเคราะห์ค่าแรงดึงที่มีผลต่อสัญญาณแอมพลิจูดของวัสดุเหล็ก SCM440

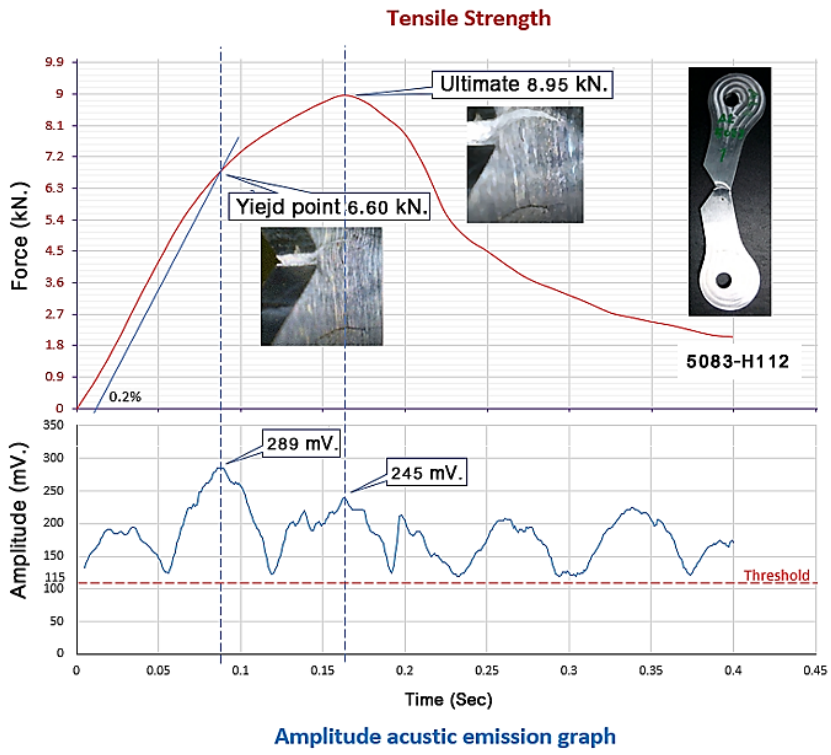
จากความสัมพันธ์ค่าแรงดึงมีผลต่อสัญญาณแอมพลิจูดที่ได้เกิดขึ้นในวัสดุ SCM440 ดังรูปที่ 5 แสดงให้เห็นค่าสัญญาณที่เกิดจากความเค้นแรงดึงเกิดขึ้น เมื่อวัสดุได้รับแรงดึงทำให้เกิดเป็นความเครียดเกิดขึ้นในโครงสร้างจุลภาคและเกิดเป็นการแตกร้าวในที่สุด จากกราฟของวัสดุ SCM440 แสดงค่าแรงดึงที่จุด Yield point 12.5 kN พบว่าเกิดสัญญาณอะคูสติกส์อีมิชชั่นที่มีค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่ 460 mV แสดงให้เห็นว่ากราฟสัญญาณแอมพลิจูดมีระดับเคาน์สัญญาณที่ค่อยๆสูงขึ้น มีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเข้าใกล้จุด Yield point และลดลงเป็นระดับเมื่อเข้าสู่จุด Ultimate point ของวัสดุ



รูปที่ 5 กราฟค่าแรงดึงวัสดุเหล็ก SCM440

2. ผลการวิเคราะห์ค่าแรงดึงที่มีผลต่อสัญญาณแอมพลิจูดของวัสดุอลูมิเนียม 5083-H112

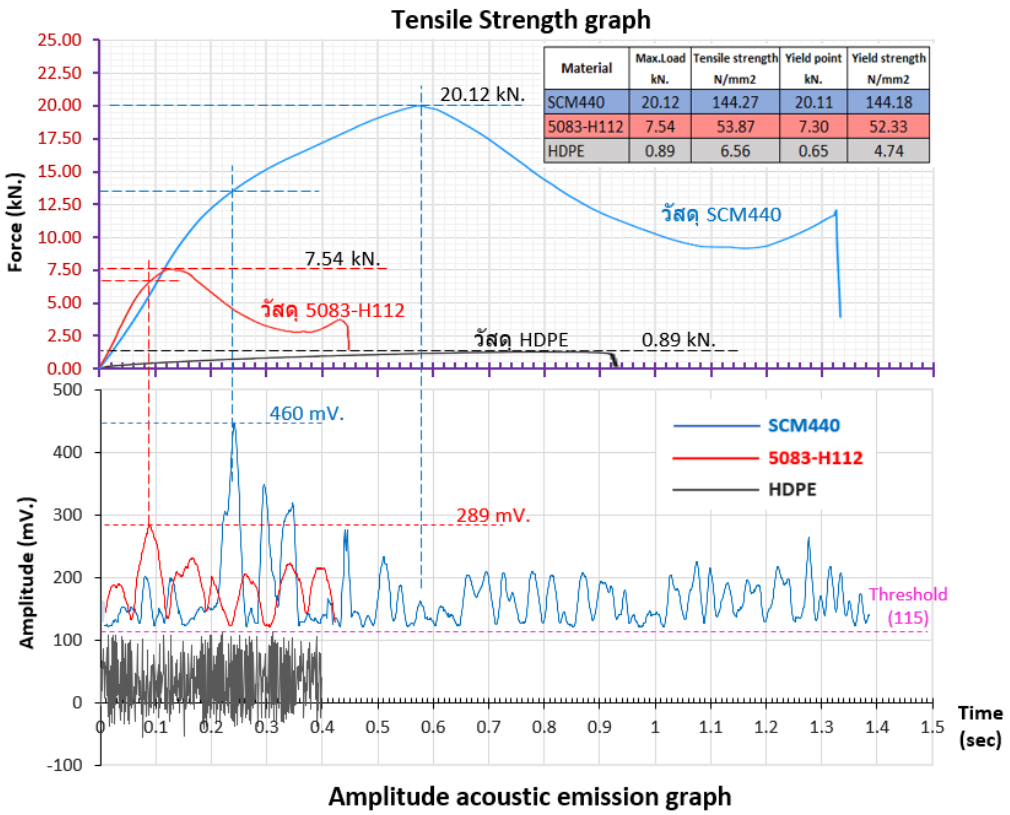
จากความสัมพันธ์ค่าแรงดึงมีผลต่อสัญญาณแอมพลิจูดที่ได้เกิดขึ้นในวัสดุอลูมิเนียม 5083-H112 ดังรูปที่ 6 สามารถนำเสนอเป็นกราฟได้ดังนี้จากความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุด Yield point 6.60 kN พบว่าเกิดสัญญาณอะคูสติกส์อีมิชชั่นที่มีแอมพลิจูดสูงสุดที่ 289 mV แสดงให้เห็นสัญญาณแอมพลิจูดมีรูปแบบเคาน์สัญญาณไม่สูงแหลม มีแนวโน้มการเพิ่มสูงอย่างช้าๆของสัญญาณ เมื่อเข้าสู่จุด Yield point และลดลงเมื่อเข้าสู่จุด Ultimate point ของวัสดุ



รูปที่ 6 กราฟค่าแรงดึงวัสดุอลูมิเนียม 5083-H112

3. ผลการวิเคราะห์ค่าแรงดึงที่มีผลต่อสัญญาณแอมพลิจูดของวัสดุพลาสติก High density polyethylene (HDPE)

จากความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่มีผลต่อสัญญาณแอมพลิจูดที่ได้เกิดขึ้นในวัสดุพลาสติก High density polyethylene (HDPE) เมื่อค่าแรงดึงสูงสุดของวัสดุแสดงค่าที่จุด Yield point 0.64 kN และไม่แสดงสัญญาณอะคูสติกส์อีมิชชั่นเหนือระดับเทรชโชลด์ จนกระทั่งชิ้นงานเกิดการแตกร้าวและขาดจากกัน



Material	Max.Load kN.	Tensile strength N/mm2	Yield point kN.	Yield strength N/mm2
SCM440	20.12	144.27	20.11	144.18
5083-H112	7.54	53.87	7.30	52.33
HDPE	0.89	6.56	0.65	4.74

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

สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบพบว่าลักษณะสัญญาณแอมพลิจูด ที่ตรวจพบภายใต้แรงดึงเกิดเป็นความเค้นที่มุมบาก มีความสัมพันธ์ต่อการเกิดสัญญาณอะคูสติกส์ที่โครงสร้างจุลภาค ในวัสดุเหล็ก SCM440 และ อลูมิเนียม 5083-H112 จะมีขนาดแอมพลิจูดที่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจนในช่วงเริ่มต้นของกราฟสัญญาณแอมพลิจูด เป็นผลจากแรงกระทำต่อโครงสร้างผลึก เมื่อวัสดุเหล็ก SCM440 มีโครงสร้างผลึกแบบ BCC ทำให้การปลดปล่อยสัญญาณแอมพลิจูดมีค่าสูงถึง 460 mV ในวัสดุที่มีความแข็งและเหนียว และจะมีค่าสัญญาณที่ต่ำลงในวัสดุที่มีความเหนียวแต่มีความแข็งน้อยอย่างเช่นวัสดุอลูมิเนียมที่มีโครงสร้างแบบ FCC มีค่าสัญญาณแอมพลิจูดที่ 290 mV ดังรูปที่ 7 แต่ในขณะที่วัสดุพลาสติก High density polyethylene (HDPE) จะไม่พบว่ามีระดับความเปลี่ยนแปลงขนาดแอมพลิจูดอย่างชัดเจน เป็นผลจากโครงสร้างของพลาสติกเป็นแบบเส้นใยทำให้สามารถยืดตัวออกได้ ง่ายและมีแรงยึดเกาะในโครงสร้างน้อย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มทร.ธัญบุรี งบประมาณประจำปี 2561 และภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ 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.