

รายงานการวิจัย

โครงการวิจัยเรื่อง การทดสอบความสามารถในการสอบเทียบคลื่นเสียงของแท่งมาตรฐานต้นแบบสำหรับการตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูงตามมาตรฐาน ASTM E164

Testability of prototyping standard and calibration blocks in ultrasonic testing according to ASTM E164

คณะผู้วิจัย

นายธีรยุทธ กาญจนแสงทอง
นายใหม่ น้อยพิทักษ์
นายฤทธิชัย เภาเนียม

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
งบประมาณแผ่นดินประจำปี 2562
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

โครงการวิจัยเรื่อง การทดสอบความสามารถในการสอบเทียบคลื่นเสียงของแท่งมาตรฐานต้นแบบสำหรับการตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูงตามมาตรฐาน ASTM E164





รายงานการวิจัย

โครงการวิจัยเรื่อง การทดสอบความสามารถในการสอบเทียบคลื่นเสียงของแท่งมาตรฐานต้นแบบสำหรับการตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูงตามมาตรฐาน ASTM E164

Testability of prototyping standard and calibration blocks in ultrasonic testing according to ASTM E164

คณะผู้วิจัย

นายธีรยุทธ กาญจนแสงทอง
นายใหม่ น้อยพิทักษ์
นายฤทธิชัย เภาเนียม

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
งบประมาณแผ่นดินประจำปี 2562
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

คณะผู้วิจัย : นายธีรยุทธ กาญจนแสงทอง
นายใหม่ น้อยพิทักษ์
นายฤทธิชัย เภาเนียม
ชื่องานวิจัย : การทดสอบความสามารถในการสอบเทียบคลื่นเสียงของแท่งมาตรฐานต้นแบบสำหรับการตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูงตามมาตรฐาน ASTM E164
หน่วยงาน : สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการบินและโลจิสติกส์เป็น 1 ใน 5 อุตสาหกรรมที่สำคัญในกลุ่มเป้าหมายใหม่นี้ ซึ่งไทยมุ่งมั่นเป็นศูนย์กลางด้านอากาศยานและโลจิสติกส์ในภูมิภาคอาเซียนนี้ โดยในส่วนการซ่อมบำรุงการบินและอากาศยานถือว่าเป็นองค์ประกอบสำคัญที่จะรองรับการพัฒนานี้ อย่างไรก็ตาม นอกจากการผลิตบุคลากรด้านซ่อมบำรุงอากาศยานแล้ว แนวทางด้านการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีอุปกรณ์พื้นฐานใช้เองภายในประเทศเป็นสิ่งที่ควรคำนึงถึงอย่างยิ่ง โดยเฉพาะงานด้านการทดสอบโดยไม่ทำลาย (Nondestructive testing, NDT) ซึ่งเป็นส่วนจำเป็นยิ่งในด้านซ่อมบำรุงอากาศยาน

ดังนั้นคณะผู้วิจัยด้านการทดสอบโดยไม่ทำลายในอากาศยาน จึงได้มีแนวคิดดำเนินการวิจัยในการพัฒนาเทคโนโลยีการทดสอบโดยไม่ทำลายในอากาศยาน เช่น การผลิตชิ้นส่วนแท่งมาตรฐานสอบเทียบในการตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูงซึ่งทดแทนการนำเข้า โดยงานวิจัยได้นี้ได้นำแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบที่ผลิตขึ้นเองตามมาตรฐาน ASTM E164 มาเปรียบเทียบกับแท่งสอบเทียบมาตรฐานต่างประเทศเพื่อดูความแตกต่างของการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงแต่ละความถี่ต่างๆ ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

จากการทดสอบเปรียบเทียบพบว่า การใช้คลื่นเสียงที่ส่งผ่านเข้าไปในชิ้นงานของแท่งมาตรฐานต้นแบบที่ผลิตขึ้นเองที่มีความถี่ต่ำ (MHz) ส่งผลให้ค่าการลดทอนของคลื่นเสียงค่อนข้างน้อย แต่ในขณะที่ถ้าหากมีการใช้คลื่นเสียงที่ส่งผ่านเข้าไปในชิ้นงานของแท่งมาตรฐานต้นแบบที่มีความถี่สูงส่งผลทำให้การลดทอนของคลื่นเสียงเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบการทดสอบระหว่างแท่งมาตรฐานต้นแบบที่ผลิตขึ้นเองกับแท่งสอบเทียบมาตรฐานนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งมีแนวโน้มของค่าการลดทอนของคลื่นเสียงใกล้เคียงกัน การใช้คลื่นเสียงที่ส่งผ่านเข้าไปในชิ้นงานแท่งมาตรฐานต้นแบบที่ผลิตขึ้นเองกับแท่งมาตรฐานสอบเทียบต่างประเทศที่ความถี่ 5, 10 MHz มีค่าเปอร์เซ็นต์ของแอมพริจูดของการลดทอนของคลื่นเสียงใกล้เคียงกันมาก สรุปได้ว่าชิ้นงานแท่งมาตรฐานต้นแบบที่ผลิตขึ้นเองสามารถนำมาใช้เป็นแท่งสอบเทียบกับเครื่องอัลตราโซนิคได้

คำสำคัญ : การทดสอบโดยไม่ทำลาย การตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูง แท่งสอบเทียบมาตรฐาน

Name : Mr.Teerayut Karnchanaseangthong
Mr.Mai Noipitak
Mr.Rittichai Phaoniam
Research Title : Testability of prototyping standard and calibration blocks in ultrasonic testing according to ASTM E164
Organization : Department of Industrial Engineering Faculty of Engineering
Rajamangala University of Technology Krungthep

Abstract

Currently, aviation and logistics are one of five important industries in this new targeted group in this ASEAN region. By there is Thailand to be the center of aircraft and logistics in this region so aircraft maintenance is one of an important component of this development. However, apart from the production of aircraft maintenance technician personnel for guideline for research and development of basic equipment for domestic use are highly considered and is something that should be considered very seriously. Particularly, nondestructive testing (NDT) which is an essential part for aircraft maintenance.

Therefore, the nondestructive testing researchers who have a concept to conduct research on the development for non-destructive testing technology in aircraft, such as the production of calibration block part for ultrasonic testing to replace imports. Hence, this research aim to compare between standard calibration block according to ASTM E164 which was produced a researcher team and an abroad imported standard calibration block to analyze the differences in the acoustic attenuation of each frequencies. The experimental results can be summarized as follows.

From the comparison testing, it was found that the use of low frequency (MHz) that are transmitted into the prototyping standard calibration block. There is little effected on attenuation of frequencies. On the other hands, if it has the using of more high frequency that is transmitted into the prototyping standard calibration block, so it can effect on increasing of ultrasonic sound attenuation also. However, when experimental cooperation between the prototyping standard calibration block and an abroad imported standard calibration block which both prototyping standard calibration block and an oversea imported standard calibration block. There is trending on an attenuation of sound wave nearby. For the use of ultrasonic sound wave that transmitted into both a prototyping standard calibration block and an oversea imported standard calibration block at 5 and 10 MHz of frequencies which there is shown the amount of percentage in the amplitude which there is clearly near trending then the prototyping standard calibration block can use to be prototyping standard and calibration blocks in ultrasonic testing according to ASTM E164.

Keywords: Nondestructive testing, Ultrasonic testing, Standard calibration block

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ สถาบันการวิจัยและพัฒนา และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย งบประมาณแผ่นดินประจำปี 2562 ทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สามารถดำเนินการ และบรรลุวัตถุประสงค์ดังที่ตั้งไว้

ขอขอบพระคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ในการทดลอง ทำให้การทดลองสามารถดำเนิน การไปได้อย่างราบรื่น

สุดท้าย คณะผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครูบาอาจารย์ ที่อบรมสั่งสอน จนทำให้คณะผู้วิจัยมีโอกาสในการทำวิจัยนี้ นอกจากนั้นขอกราบขอบพระคุณทุกๆ ท่านที่มีความเกี่ยวข้องกับงานวิจัยชิ้นนี้ ซึ่งคณะผู้วิจัยไม่ได้เอ่ยนามถึง ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบแด่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ธีรยุทธ กาญจนแสงทอง
ใหม่ น้อยพิทักษ์
ฤทธิชัย เภาเนียม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	4
2.1 การทดสอบโดยไม่ทำลาย (Nondestructive testing, NDT)	4
2.2 การตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic test)	6
2.3 องค์ประกอบของคลื่นเสียง	7
2.4 มาตรฐาน ASTM E164	13
2.5 เหล็กกล้า	15
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานทดลองงานวิจัย	21
3.1 การตรวจสอบความเร็วคลื่นเสียงแท่งมาตรฐานต้นแบบและแท่งมาตรฐานสอบเทียบ IIW type V-I	22
3.2 ขั้นตอนการเก็บผลการทดลอง	26
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการวิจัย	27
4.1 ผลการทดสอบการลดทอนคลื่นเสียง (Acoustic Attenuation) แท่งมาตรฐานต้นแบบ	27
4.2 ผลการทดสอบการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานจากต่างประเทศ	29
4.3 การเปรียบเทียบการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูของแท่งมาตรฐานต้นแบบและแท่งมาตรฐานสอบเทียบ IIW type V-I แต่ละความถี่	32
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	35
5.1 สรุปผลการทดลอง	35
5.2 ข้อเสนอแนะ	35
บรรณานุกรม	36
ภาคผนวก ก	38
ภาคผนวก ข	42
ภาคผนวก ค	46

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ความหนาแน่นและชนิดของวัสดุที่ส่งผลต่อความเร็วคลื่น	10
2.2	ขนาดและสเกลของมาตรฐาน ASTM E164	14
2.3	องค์ประกอบทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ	15
2.4	สมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ	16
2.5	องค์ประกอบทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด SS400	16
2.6	สมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด SS400	16
3.1	ส่วนผสมทางเคมีของแท่งมาตรฐานต้นแบบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก %)	23
3.2	การเก็บผลการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงแต่ละความถี่	26

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	การตรวจสอบด้วยสายตา	4
2.2	การตรวจด้วยรังสี	4
2.3	การตรวจสอบรอยบกพร่องด้วยอัลตราโซนิก	4
2.4	การตรวจสอบรอยบกพร่องด้วยผงแม่เหล็ก	4
2.5	หลักการทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง	6
2.6	Calibration and Reference Test Blocks	7
2.7	องค์ประกอบของคลื่นเสียง	8
2.8	จำแนกตามชนิดคลื่นเสียง	8
2.9	การสะท้อนและการหักเหของคลื่นเสียง	9
2.10	การใช้งานแท่งสอบเทียบมาตรฐาน	10
2.11	แท่งสอบเทียบมาตรฐาน	11
2.12	มาตรฐาน ASTM E164 สำหรับการสร้างแท่งสอบเทียบมาตรฐาน V1	13
2.13	ชิ้นงานเชื่อม	17
2.14	การทดสอบการลดทอนและการหาค่าความเร็วคลื่นเสียงความถี่สูง	18
2.15	ชิ้นส่วนหลักของจรวด	18
2.16	เครื่องมือทดสอบคลื่นเสียงความถี่สูงและชิ้นงานสอบเทียบมาตรฐาน IIW Block	19
2.17	ทดสอบการยึดเกาะผิวอลูมิเนียม วิธี Pull off Test	19
3.1	ขั้นตอนแนวคิดของโครงการวิจัย	21
3.2	แท่งสอบเทียบมาตรฐาน (Calibration Block V1)	22
3.3	หัวตรวจสอบแบบ Normal Probe และแบบ Angle Probe	22
3.4	สารนำคลื่น (Couplant)	23
3.5	แท่งมาตรฐานต้นแบบที่ผลิตขึ้น	24
3.6	การตรวจสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง	24
3.7	ส่วนต่างๆ ที่ปรากฏบนหน้าจอของเครื่องตรวจสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง รุ่น Krautkramer USM 36	25
4.1	กราฟการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบที่ความถี่ 2 MHz	27
4.2	กราฟการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบที่ความถี่ 5 MHz	28
4.3	กราฟการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบที่ความถี่ 10 MHz	28
4.4	กราฟเปรียบเทียบการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ ตามความถี่ต่างๆ	29

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.5	กราฟการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานจากต่างประเทศที่ความถี่ 2 MHz	30
4.6	กราฟการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานจากต่างประเทศความถี่ 5 MHz	30
4.7	กราฟการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานจากต่างประเทศที่ความถี่ 10 MHz	31
4.8	กราฟเปรียบเทียบการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานจากต่างประเทศ ตามความถี่ต่างๆ	31
4.9	กราฟเปรียบเทียบการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบกับแท่งสอบเทียบมาตรฐานต่างประเทศ ที่ความถี่ 2 MHz	32
4.10	กราฟเปรียบเทียบการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบกับแท่งสอบเทียบมาตรฐานต่างประเทศ ที่ความถี่ 5 MHz	33
4.11	กราฟเปรียบเทียบการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบกับแท่งสอบเทียบมาตรฐานต่างประเทศ ที่ความถี่ 10 MHz	33

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

จากนโยบายของรัฐบาลในการพัฒนาประเทศเข้าสู่ Thailand 4.0 โดยมุ่งเน้นผลักดันการปฏิรูปอุตสาหกรรมไทยเข้าสู่ยุค Industry 4.0 ซึ่งแนวคิดนี้เป็นการบูรณาการเทคโนโลยีดิจิตอลร่วมกับระบบการผลิตอัตโนมัติและระบบเครือข่ายสารสนเทศเพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิต บริการและความสามารถในการแข่งขันทางธุรกิจทั้งในและต่างประเทศ ปัจจุบันภาครัฐได้ประกาศนโยบายดิจิตอลเพื่อเศรษฐกิจและสังคมเพื่อรอบรับการพัฒนากลุ่มอุตสาหกรรมเป้าหมายใหม่ (New S-Curve) ขึ้น ซึ่งการบินและโลจิสติกส์เป็น 1 ใน 5 อุตสาหกรรมที่สำคัญในกลุ่มเป้าหมายใหม่นี้ ซึ่งไทยมุ่งมั่นเป็นศูนย์กลางด้านอากาศยานและโลจิสติกส์ในภูมิภาคอาเซียนนี้ โดยในส่วนนี้การซ่อมบำรุงการบินและอากาศยานถือว่าเป็นองค์ประกอบสำคัญที่จะรองรับการพัฒนานี้อย่างยิ่ง ณ ปัจจุบัน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ได้จัดตั้งสถาบันการบินแห่งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ (UTK Aviation Institute) ขึ้น เพื่อให้บริการการเรียนการสอนผลิตช่างซ่อมบำรุงอากาศยานตามมาตรฐานสากล EASA Part 147 ขึ้นภายใต้ความร่วมมือกับ บริษัท AERO-Bildungs GmbH ประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนีและบริษัทอุตสาหกรรมการบิน จำกัด (TAI) โดยดำเนินการใน หลักสูตรฝึกอบรมช่างซ่อมบำรุงอากาศยาน มาตรฐาน EASA Part 66 (CAT B1.1 และ CAT B2) อย่างไรก็ตาม นอกจากการผลิตบุคลากรด้านซ่อมบำรุงอากาศยานแล้ว แนวทางด้านการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีอุปกรณ์พื้นฐานใช้เองภายในประเทศเป็นสิ่งที่ควรคำนึงถึงอย่างยิ่ง โดยเฉพาะงานด้านการทดสอบโดยไม่ทำลาย (Nondestructive testing, NDT) ซึ่งเป็นส่วนจำเป็นยิ่งในด้านซ่อมบำรุงอากาศยาน การทดสอบโดยไม่ทำลายเป็นงานตรวจสอบความสมบูรณ์ของชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งขณะทำงานและหยุดทำงานโดยไม่เกิดความเสียหายขึ้น เช่น การตรวจสอบด้วยภาพถ่ายรังสี (Radiographic test) การตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic test) การตรวจสอบด้วยกระแสไหลวน (eddy current test) เป็นต้น โดยการทดสอบโดยไม่ทำลายในอากาศยานเป็นงานเฉพาะด้านที่ยังขาดแคลนบุคลากรและเทคโนโลยีภายในประเทศ ซึ่งชิ้นส่วนอุปกรณ์การตรวจสอบต่างๆต้องนำเข้าจากภายนอกประเทศเกือบทั้งหมดและบุคลากรภายในประเทศโดยมากเป็นเพียงผู้ใช้เท่านั้น

ดังนั้นคณะผู้วิจัยด้านการทดสอบโดยไม่ทำลายในอากาศยานจึงเล็งเห็นความสำคัญด้านความขาดแคลนบุคลากรและเทคโนโลยีภายในประเทศ จึงได้มีแนวคิดดำเนินการวิจัยร่วมเชิงบูรณาการในการพัฒนาเทคโนโลยีการทดสอบโดยไม่ทำลายในอากาศยาน เช่น การผลิตชิ้นส่วนมาตรฐานสอบเทียบในการตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูง ทดแทนการนำเข้า เป็นต้น โดยคณะผู้วิจัยประกอบด้วย

- โครงการศูนย์วิจัยร่วมการทดสอบโดยไม่ทำลายและประเมินวัสดุในงานอากาศยาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ (RMUTK)
- สถาบันการบินแห่งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

- ศูนย์วิศวกรรมการผลิตความแม่นยำสูง (High precision) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
- ห้องปฏิบัติการประเมินวัสดุผสม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร (RMUTP)
- หน่วยวิจัยวัสดุและการการทดสอบโดยไม่ทำลาย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
  เขตการศึกษาราชบุรี (KMUTT)

ซึ่งในโครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและทดสอบสมบัติคลื่นเสียงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานจากการผลิตด้วยเทคโนโลยีภายในประเทศว่ามีความสามารถในการสอบเทียบคลื่นเสียงของแท่งมาตรฐานต้นแบบสำหรับการตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูงตามมาตรฐาน ASTM E164 ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 ศึกษาสมบัติคลื่นเสียงของแท่งมาตรฐานสอบเทียบต้นแบบในการตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูง

1.2.2 ศึกษาความสามารถในการสอบเทียบคลื่นเสียงของแท่งมาตรฐานต้นแบบสำหรับการตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูงตามมาตรฐาน ASTM E164

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

โครงการวิจัยการทดสอบความสามารถในการสอบเทียบคลื่นเสียงของแท่งมาตรฐานต้นแบบสำหรับการตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูงตามมาตรฐาน ASTM E164 มีขอบเขตการศึกษาดังนี้

1.3.1 ชิ้นงานวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน

1.3.2 แท่งมาตรฐานสอบเทียบ ชนิด IIW type V-I calibration blocks

1.3.3 ทดสอบประสิทธิภาพเครื่องมือสอดคล้องตามมาตรฐานการทดสอบโดยไม่ทำลาย ASTM E164

1.3.4 ทดสอบด้วยหัวตรวจสอบ 2.25 MHz, 5 MHz, 10MHz

1.3.5 เครื่องกำเนิดคลื่นเสียงความถี่สูงชนิด A-scan

1.3.6 ทดสอบสมบัติคลื่นเสียงการลดทอน การกระจาย การอับสัญญาณ (Dead Zone) ความไว (Sensitivity) Correction Distance Calibration (DAC) ของคลื่นตามยาวและขวาง

1.3.7 เปรียบเทียบคุณลักษณะคลื่นเสียงระหว่างแท่งมาตรฐานสอบเทียบต้นแบบและแท่งมาตรฐานสอบเทียบจากต่างประเทศ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สร้างระบบกลุ่มนักวิจัยความร่วมมือระหว่างความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านที่สอดคล้องกัน เพื่อการผลิตชิ้นส่วนมาตรฐานสอบเทียบ (Standard and calibration blocks) ตามมาตรฐานสากล ทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ

1.4.2 ต้นแบบแท่งมาตรฐานสอบเทียบในงานตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูง ที่ใช้เทคโนโลยีภายในประเทศผลิตเอง

1.4.3 สามารถต่อยอดพัฒนาการผลิตชิ้นส่วนมาตรฐานและอุปกรณ์อื่นๆในงานทดสอบโดยไม่ทำลายต่อไปในอนาคตได้

1.4.4 ต่อยอดเพื่อการผลิต จำหน่ายและใช้งานเชิงพานิชย์ต่อไป

บทที่ 2
ทฤษฎีและกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

2.1 การทดสอบโดยไม่ทำลาย (Nondestructive testing, NDT)[1]

การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-destructive testing : ndt) ซึ่งสมาคมวิศวกรรม เครื่องกลของอเมริกา (ASME) จะเรียกว่าการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (Non-destructive examination : NDE) นั้น กล่าวง่าย ๆ ก็คือ เป็นการทดสอบวัสดุชิ้นงานโดยไม่ทำลายให้เสียหายนั่นเอง กล่าวคือ เป็นการทดสอบชิ้นงานที่เหมือนกับวัสดุ อุปกรณ์ หรือโครงสร้าง โดยไม่ก่อให้เกิดรอยขีดข่วน การแยกส่วน หรือการแตกหักเสียหาย กล่าวอีกนัยหนึ่ง คือการตรวจสอบลักษณะสมบัติ สมรรถภาพ โครงสร้างภายใน หรือรอยบกพร่องภายใน โดยไม่ทำให้ชิ้นงานทดสอบเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ขนาด หรือสมรรถนะ

ในการนี้จะใช้ลักษณะสมบัติทางฟิสิกส์ของชิ้นทดสอบ เช่น แสง ความร้อน รังสี คลื่นเสียงอัตราโซนิก ไฟฟ้า หรืออำนาจแม่เหล็กซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามความผิดปกติของโครงสร้างภายใน หรือรอบบกพร่องที่มีอยู่ แล้วใช้การทดสอบแบบไม่ทำลายวัดลักษณะสมบัติทางฟิสิกส์เหล่านี้ เพื่อประเมินความผิดปกติของโครงสร้างภายใน หรือรอยบกพร่องที่มีอยู่ได้

ในวิธีการทดสอบนั้นไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ทดสอบก็ได้ วิธีที่เร็วที่สุด ประหยัดที่สุด และยังมีประสิทธิภาพมากที่สุดคือการตรวจสอบด้วยสายตาเป็นขั้นเริ่มแรก จากนั้นก็มีการตรวจสอบโดยใช้รังสี การตรวจสอบรอยบกพร่องโดยใช้อัลตราโซนิก การตรวจสอบรอยบกพร่องด้วยผงแม่เหล็ก การตรวจสอบรอยบกพร่องโดยใช้รังสี การตรวจสอบโดยใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเป็นการใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ เข้ามาช่วย (ดังรูปที่ 2.1– 2.4)



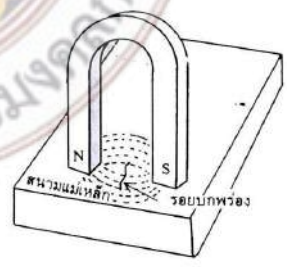
รูปที่ 2.1 การตรวจสอบด้วยสายตา



รูปที่ 2.2 การตรวจด้วยรังสี



รูปที่ 2.3 การตรวจสอบรอยบกพร่องด้วยอัลตราโซนิก



รูปที่ 2.4 การตรวจสอบรอยบกพร่องด้วยผงแม่เหล็ก

ที่กล่าวมาข้างต้นว่าการทดสอบแบบไม่ทำลายนั้นใช้แทนการทดสอบแบบทำลายได้ ไม่ได้หมายความว่าเมื่อทำการทดสอบแบบไม่ทำลายได้แล้ว การทดสอบแบบทำลายจะกลายเป็นสิ่งที่ไม่จำเป็น การทอสอบแบบไม่ทำลายนั้นเป็นการใช้ลักษณะสมบัติทางฟิสิกส์ของชิ้นงานทดสอบในการประเมินระดับของรอยบกพร่อง หรือความแข็งแรง ทว่า ข้อมูลของการทดสอบแบบทำลายก็เป็นส่วนประกอบที่จำเป็นเช่นกัน ตัวอย่างเช่น การเชื่อมแผ่นเหล็กทดสอบโดยวิธีการเดียวกับการเชื่อมโครงสร้างของสิ่งก่อสร้าง แล้วใช้การทดสอบแบบทำลายกับแผ่นเหล็กทดสอบ ซึ่งเรียกว่า Test plate testing เพื่อเป็นการประเมินความแข็งแรงของรอยเชื่อม และเป็นการประกันความปลอดภัยของรอยเชื่อม เป็นตัวอย่างหนึ่งของการทดสอบแบบทำลายชิ้นงานทดสอบที่ใช้ประกอบกับการทดสอบแบบไม่ทำลายผลิตภัณฑ์

2.2.1 การทดสอบโดยไม่ทำลายเพื่อตรวจหารอยบกพร่องบริเวณผิว

1) การทดสอบโดยการตรวจสอบพินิจ (Visual Testing) ตามทฤษฎีแล้วจะใช้สายตาดู ในกรณีที่จำเป็นจะใช้แว่นขยาย, ไม้บรรทัดเว้า (Convex ruler), เกจชนิดพิเศษต่าง ๆ เพื่อวัดขนาดของรอยแตก รอยเหลื่อม (Overlapped) หลุดบ่อต่าง ๆ ความสูงของตะเข็บเชื่อม และการเชื่อมกินเนื้องาน (Undercut) เป็นต้น

2) การทดสอบโดยใช้ผงแม่เหล็ก (Magnetic Particle Testing) สามารถตรวจหารอยบกพร่องบริเวณผิวหรือภายใต้ผิวได้ แต่ไม่สามารถใช้กับชิ้นทดสอบที่มีสภาพความเป็นแม่เหล็กสูง

3) การทดสอบโดยใช้การซึมของของเหลว (Liquid Penetrant Testing) ใช้ตรวจหารอยแตกเฉพาะที่บริเวณผิวพื้นเท่านั้น ใช้กับวัสดุที่เป็นโลหะ และอโลหะ โดยทั่วไป

4) การทดสอบโดยกระแสไหลวน (Eddy Current Testing) ใช้ตรวจสอบหารอยขีดข่วนที่ผิววัสดุที่เป็นตัวนำไฟฟ้าโดยไม่ต้องสัมผัส และสามารถตรวจสอบได้อย่างรวดเร็ว ใช้ในการตรวจสอบรอยแตกของแท่งหรือท่อโดยอัตโนมัติ

2.1.2 การทดสอบโดยไม่ทำลายเพื่อหารอยบกพร่องภายใน

1) การทดสอบโดยใช้รังสี (Radiographic Testing) เหมาะสำหรับใช้ตรวจสอบรอยบกพร่องที่อยู่ลึกเข้าไปตามแนวรังสี โดยใช้รังสีช่วยในการตรวจหา นอกจากนี้ยังใช้ตรวจชนิดของรอยบกพร่อง และรูปร่างไม่ดี ทว่า ผิวที่มีการเคลือบหรือรอยแตกที่เอียงทำมุมนั้นไม่สามารถตรวจสอบได้

2) การทดสอบโดยใช้อัลตราโซนิก (Ultrasonic Testing) การตรวจสอบรอยแตกที่แผ่เป็นแผ่นทำได้ดีกว่าตรวจสอบโดยใช้รังสี ทว่าเพื่อให้การตรวจสอบทำได้ดีจำเป็นต้องเลือกให้การสะท้อนคลื่นนั้นตั้งฉากกับระนาบของรอยแตก และในกรณีของรอยบกพร่องพวกโพรงอากาศ (Blow hold) หรือที่มีรูปร่างเป็นทรงกลมจะตรวจพบได้ยาก

2.1.3 การทดสอบโดยไม่ทำลายแบบอื่น ๆ

1) การวัดความเครียด (Strain Measurement) การอกแบบโครงสร้าง หรือการประเมินค่าความปลอดภัยของโครงสร้างนั้น การทราบค่าความเครียด หรือแรงภายในเมื่อมีแรงภายนอกมากระทำเป็นสิ่งสำคัญ วิธีการวัดมักจะใช้เรียกกันว่าการวัดแรงกระทำแต่ค่าที่วัดจริง ๆ คือความเครียด (Strain) ในกรณีที่เป็นสภาพอิลาสติคนั้นจะคูณค่าของความเครียดด้วย Young Modulus หรือ E เพื่อหาค่าของแรงได้

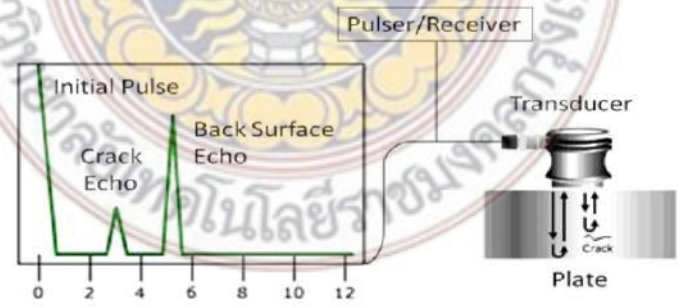
2) การทดสอบโดยไม่ทำลายแบบอื่น ๆ การทดสอบบริเวณรอยเชื่อม หรือส่วนอื่น ๆ มีการใช้การตรวจสอบด้วยรังสีอินฟราเรด (Infrared testing) หรือโดยใช้อคูสติก อิมิสชัน (Acoustic emission testing : AET) ปัจจุบันได้มีการวิจัยเพื่อประยุกต์ใช้วิธีการดังกล่าวในการตรวจสอบ สำหรับอุปกรณ์ที่รับแรงกดดันหรือท่อส่งมวลสารต่าง ๆ จะใช้การทดสอบแรงดัน (Hydrostatic Test) การทดสอบการรั่วซึม (Leakage test) สำหรับพวกแท็งก์น้ำก็ใช้การทดสอบแรงดันของน้ำในการตรวจสอบ

2.2 การตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic test) [2, 3]

เป็นการตรวจสอบหารอยบกพร่องภายในชิ้นงาน โดยใช้คลื่นเสียงความถี่สูงผ่านเข้าไปยังชิ้นงานทดสอบโดยอาศัยหลักการในการส่งคลื่นเสียงความถี่ที่มากกว่า 20,000 Hz ซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่มนุษย์ไม่สามารถได้ยินเสียงดังกล่าวได้ (โดยปกติหูของคนจะสามารถรับฟังเสียงได้ในช่วงคลื่นความถี่ 20-20,000 Hz) เมื่อคลื่นเสียงกระทบกับสิ่งกีดขวางจะเกิดการทสะท้อนกลับมายังภาครับสัญญาณในเครื่องตรวจสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง และประมวลออกมาในรูปของเส้นสัญญาณที่เรียกว่า A-Scan ทำให้สามารถตรวจสอบความไม่ต่อเนื่องและตรวจวัดความหนาของชิ้นงานได้ (คลื่นเสียงความถี่สูงนี้ มีคุณสมบัติในการผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็งและของเหลว แต่จะไม่ส่งผ่านและสะท้อนกลับในตัวกลางที่เป็นอากาศ) สำหรับการทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูงนี้ จำเป็นต้องใช้ผู้มีความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ในการใช้เครื่องมือและตีความสัญญาณ เพื่อแยกแยะรอยตำหนิที่อยู่ในชิ้นงานได้อย่างถูกต้องและน่าเชื่อถือ

ดังรูปที่ 2.5 เมื่อคลื่นเสียงตกกระทบกับรอยตำหนิซึ่งมีค่าความต้านทานทางเสียงไม่เท่ากับตัวกลางก็จะให้ สัญญาณสะท้อนกลับ (Reflection) ทำให้สามารถตรวจหารอยตำหนิที่อยู่ในตัวกลางได้โดยระยะเวลา (แกนแนวนอน) และความสูงแอมพลิจูด (Echo) สามารถนำมาใช้ ในการคำนวณตำแหน่งและขนาดของรอยตำหนิได้

การทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูงใช้ในการตรวจความสมบูรณ์ของเนื้อโลหะ เช่น การหลอมละลายไม่สมบูรณ์หรือรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้น ภายหลังการขึ้นรูปด้วยการเชื่อม (Welding) ของถังรับแรงดันสูงและงานโครงสร้างเหล็กตามมาตรฐานที่ใช้ในการก่อสร้างระบุไว้ นอกจากนี้ยังไว้ในการตรวจวัดความหนาของถังรับแรงดันสูงและระบบท่อที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม



รูปที่ 2.5 หลักการทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง [3]

2.2.1 การสอบเทียบด้วยแท่งมาตรฐานสำหรับตรวจปรับเครื่องอุลตราโซนิค (Calibration and Reference Test Blocks) [3]

เป็นขั้นตอนที่ต้องปฏิบัติก่อนการตรวจสอบงานจริงทุกครั้งโดยใช้ชิ้นงานสอบเทียบมาตรฐาน (Standard Calibration Block) เช่น IIW Block (V1) Type 2 ดังรูปที่ 2.6 สำหรับการหาตำแหน่งจุดปล่อยของลำคลื่นเสียง (probe index), ตรวจสอบมุมของหัว ทดสอบรวมถึงการการสอบเทียบสเกลเวลา (Time Base) หรือระยะทางที่คลื่นเสียงเดินทาง (Sound Path) ในบางกรณีชิ้นงานสอบเทียบที่จัดทำขึ้นมาเฉพาะสำหรับอ้างอิงแต่ละผลิตภัณฑ์ (Reference Block) ซึ่งจะต้องมีการทำรอยบาก (Notch) ขึ้นมาเพื่อจำลองเสมือนเป็นรอยตำหนิจริงมาใช้ทำการปรับตั้งเกน (Gain) เพื่อให้พลังงานเพียงพอต่อการตรวจหารอยตำหนิขนาดเล็กที่ต้องการตรวจสอบ (Sensitivity)

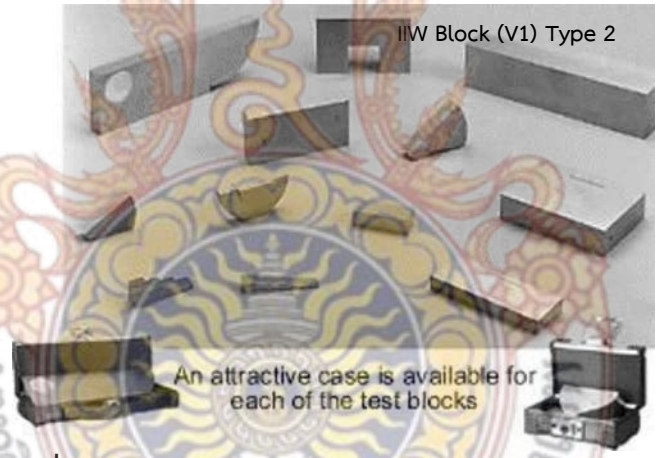
Test Block สำหรับการทดสอบด้วย UT ประกอบด้วย notches, slots หรือ Drill holes ใช้สำหรับ

1) หาคุณสมบัติในการทำงานของเครื่องและ Probes

2) จำลองสภาพการทดสอบเปรียบเทียบความสูงหรือตำแหน่งของ echo จากตำหนิในชิ้นงาน

3) ทดสอบกับตำหนิที่สร้างขึ้นใน Test Block

Block ที่ใช้เพื่อจุดประสงค์ที่ 1 และ 2 คือ Calibration Block ขณะที่ Block ที่ใช้เพื่อจุดประสงค์ที่ 3 คือ Reference Block โดยTest Block ในแต่ละแท่งเป็นได้ทั้ง calibration และเป็น Reference ได้ในแท่งเดียวกัน



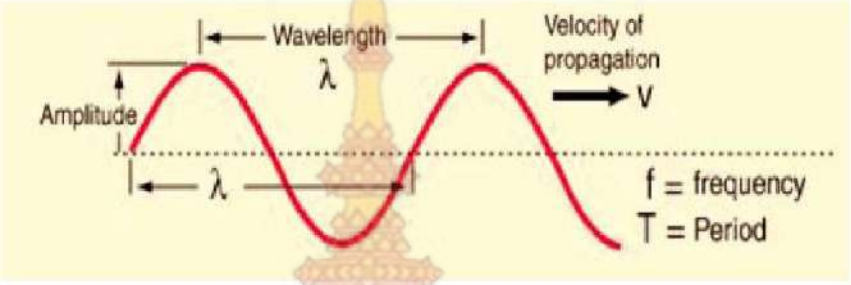
รูปที่ 2.6 Calibration and Reference Test Blocks

2.3 องค์ประกอบของคลื่นเสียง [2, 3]

ในรูปที่ 2.7 จะเห็นว่าองค์ประกอบของคลื่นเสียง ประกอบไปด้วย ความเร็ว (v) ความถี่ (f) แอมพลิจูด และความยาวคลื่น (λ) ซึ่งมีความสัมพันธ์ ดังสมการที่ 2.1

$$\lambda = v/f \qquad (2.1)$$

โดยแต่ละองค์ประกอบของคลื่นเสียงจะส่งผลต่อ ประสิทธิภาพของการตรวจสอบ เช่น ความยาวคลื่นจะ ส่งผลต่อความสามารถของการตรวจหารอยตำหนิขนาดเล็ก (Sensitivity) ซึ่งมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของความยาว คลื่น ($\lambda/2$) และความสามารถในการแยกแยะ 2 รอย ตำหนิที่อยู่ใกล้กันออกจากกัน (Resolution), ความถี่จะ ส่งผลต่อความยาวคลื่นและความสามารถในการซึมลึก (Transmission) ของคลื่นเสียงในตัวกลางและขนาดแอมพลิจูดจะบอกถึงปริมาณคลื่นเสียงที่สะท้อนกลับ (Echo) ซึ่งนำมาใช้ในการประมาณขนาดของรอยตำหนิ



รูปที่ 2.7 องค์ประกอบของคลื่นเสียง [2]

2.3.1 ประเภทของคลื่นเสียง

คลื่นเสียงจำแนกตามลักษณะการสั่นหรือการเคลื่อนที่ (Sound Propagation) คือคลื่นเสียงตามยาว (Longitudinal or Compressional Wave) อนุภาคตัวกลางจะเคลื่อนที่ ขนานกับทิศทางของคลื่นดังรูปที่ 2.8 (a) และคลื่นเสียงตามขวาง (Transverse or Shear Wave) อนุภาคตัวกลางจะเคลื่อนที่ตั้งฉากกับทิศทางของคลื่น ซึ่งความเร็วเสียงของคลื่นประเภทนี้จะประมาณครึ่งหนึ่งของคลื่นเสียงตามยาวดังรูปที่ 2.8 (b) ขณะที่คลื่นตามพื้นผิว (Surface or Rayleigh Wave) อนุภาคตัวกลางจะเคลื่อนที่เป็นวงรีโดยทิศทางการ เคลื่อนที่จะวิ่งไปตามพื้นผิวและซึมลึกประมาณ 1 ความยาวคลื่นซึ่งคลื่นประเภทนี้ใช้สำหรับตรวจรอยตำหนิที่อยู่บนพื้นผิวดังรูปที่ 2.8 (c)



รูปที่ 2.8 จำแนกตามชนิดคลื่นเสียง [2]

2.3.2 การสะท้อนและการหักเหของคลื่นเสียง

เมื่อคลื่นเสียงเดินทางมาตกกระทบกับตัวกลางที่มีค่าความต้านทานเสียง (Acoustic Impedance, z) ซึ่งเป็นผลคูณระหว่างความหนาแน่น (ρ) กับความเร็วเสียง (v) ของตัวกลางดังสมการที่ 2.2

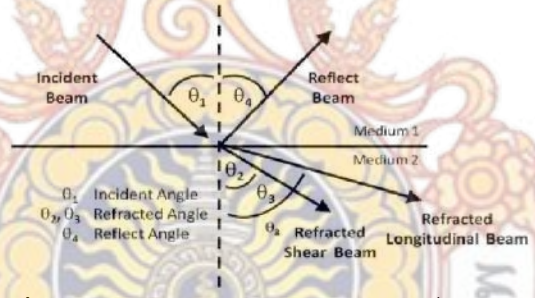
$$Z = \rho * v \qquad (2.2)$$

หากค่าความต้านทานเสียงต่างกันจะทำให้คลื่นเสียงบางส่วนสะท้อนกลับ (Reflection) โดยปริมาณการสะท้อนกลับ (Reflection Coefficient, R) ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความต้านทานเสียงระหว่างตัวกลาง 2 ประเภท ดังสมการที่ 2.3

$$\text{Relection Coefficient (R)} = \frac{(Z2-Z1)^2}{(Z1+Z2)^2} \qquad (2.3)$$

ขณะที่บางส่วนผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุ (Transmission) และเกิดการหักเห (Refraction) เกิดเป็นคลื่นตามยาวและคลื่นตามขวางในตัวกลางที่ 2 ดังรูปที่ 2.9 โดยมุมตกกระทบ ($\theta 1$) จะเท่ากับมุมสะท้อน ($\theta 4$) และมุมหักเหจะเป็นไปตามกฎของ Snell's Law ดัง สมการที่ 2.4 โดย $\theta 2$, $\theta 3$ คือ มุมหักเหของคลื่นเสียงตาม ขวางและคลื่นเสียงตามยาว และ v2s,v2L คือ ความเร็ว เสียงคลื่นตามขวางและคลื่นเสียงตามยาวในตัวกลางที่ 2 ตามลำดับ

$$\frac{\sin\theta 1}{v1} = \frac{\sin\theta 2}{v2s} = \frac{\sin\theta 3}{v2L} \qquad (2.4)$$



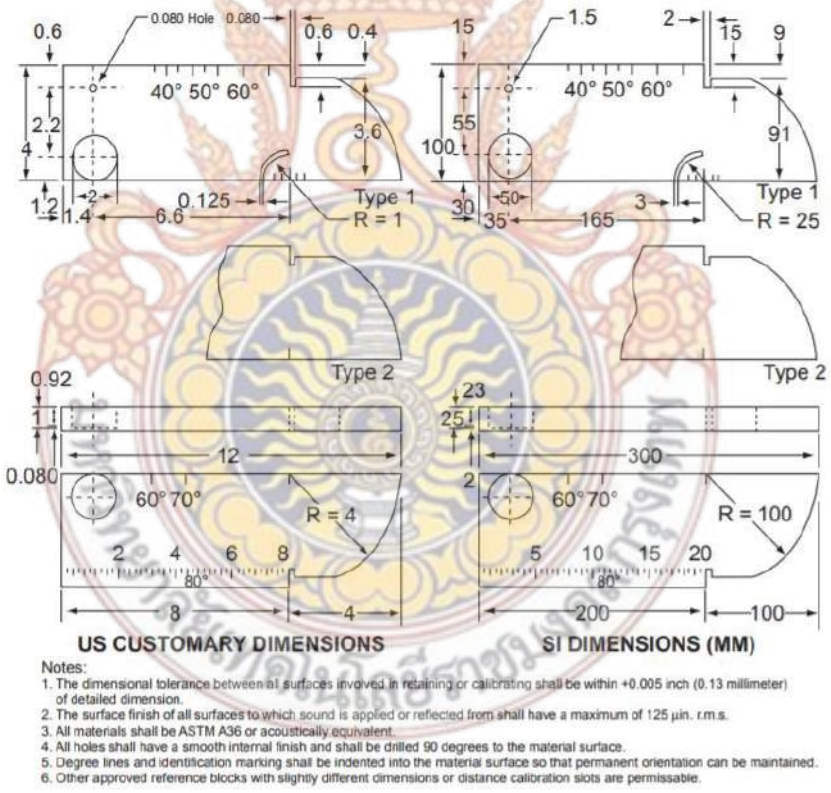
รูปที่ 2.9 การสะท้อนและการหักเหของคลื่นเสียง [2]

2.3.2 อิทธิพลที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสัญญาณคลื่น

โดยทั่วไปการตรวจสอบความเสียหายด้วยคลื่นความถี่สูง เป็นการส่งสัญญาณ ผ่านวัสดุซึ่งเป็นตัวกลางที่ใช้ในการเคลื่อนที่ เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงตัวกลางในการเคลื่อนที่จะส่งผลต่อความเร็วและมุมในการสะท้อนที่เปลี่ยนแปลงไป ดังตารางที่ 2.1 ดังนั้นอิทธิพลหลักที่สำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงคือชนิดของวัสดุที่ใช้ในการตรวจสอบ ความหนาแน่น ขนาดของเกรน สมบัติความเป็นอิลาสติกของวัสดุ ดังนั้นในการตรวจสอบชิ้นงานชนิดต่างๆ จำเป็นต้องมีการตรวจสอบเครื่องมือด้วยชิ้นงานที่เป็นมาตรฐานเสมอ ซึ่งในการตรวจสอบแบบไม่ทำลายด้วยเทคนิคการตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูงนี้จะมีแท่งสอบเทียบมาตรฐาน เรียกว่า Standard calibration blocks ลักษณะดังรูปที่ 2.10

ตารางที่ 2.1 ความหนาแน่นและชนิดของวัสดุที่ส่งผลต่อความเร็วคลื่น [3]

Material	Density g/cm^3	Longitudinal Velocity cm/μSec	
Air	0.001	0.033	738
Water	1.00	0.149	3,333
Plastic (Acrylic)	1.18	0.267	5,972
Aluminum	2.8	0.625	13,981
Steel		0.56	
Cast Iron		0.35 to 0.56	
Mercury	13.00	0.142	3,176
Beryllium	1.82	1.28	28,633



รูปที่ 2.10 การใช้งานแท่งสอบเทียบมาตรฐาน [3]

2.3.3 การลดทอนของเสียง (Sound attenuation)

การลดทอนของเสียง หมายถึงการที่เสียงมีพลังงานลดลงเมื่อเสียงเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในตัวกลาง การลดทอนของเสียงขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ 2 ประการคือ มุมบาน และการลดทอนเนื่องจากวัสดุ (Material attenuation)

1) มุมบานเป็นองค์ประกอบสำคัญในการลดทอน เมื่อมุมบานมากขึ้นทำให้พลังงานกระจายไปในบริเวณที่กว้างทำให้ระดับพลังงานที่ตรงกึ่งกลางลำคลื่นลดลง

2) การลดทอนเนื่องจากวัสดุ อาจเนื่องจากการเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า การกระเจิง (Scattering) เนื่องจากคลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่านเกรน และการสะท้อนที่ขอบของเกรน (Grain boundaries)

2.3.4 เครื่องมือทดสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงแยกตามประเภทตามการแสดงสัญญาณสะท้อนดังนี้

1) A - scan เป็นเครื่องมือที่แสดงผลของความสัมพันธ์ระหว่างแกนเวลา (แกนนอน) กับความสูงของแอมพลิจูด (แกนตั้ง) หรือเป็นแบบพัลส์ – เอคโค ที่นิยมใช้กันอยู่ในงานสนามนั่นเอง

2) B - scan เป็นเครื่องมือที่แสดงของพื้นที่หน้าตัด (Cross section) และแสดงความลึกของรอยความไม่ต่อเนื่อง รวมถึงผิวบนชิ้นงาน ผิวบนของรอยความไม่ต่อเนื่อง และผิวล่างของชิ้นงาน

3) C-Scan เป็นเครื่องมือที่แสดงภาพในแนวระนาบ (Plane view) ของชิ้นงานแต่ไม่แสดงขนาดของความลึก เพียงแต่แสดงความแตกต่างของความลึกออกมาในระดับความเข้มที่ไม่เท่ากัน

2.3.5 แท่งมาตรฐานสำหรับสอบเทียบ

เป็นแท่งมาตรฐานไว้สำหรับสอบเทียบหาจุดศูนย์กลางลำคลื่นของหัวตรวจสอบ (Probe index) เพื่อหามุมที่แท้จริงของหัวตรวจสอบแบบเอียง และตั้งระยะทดสอบฯลฯ แท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIW TYPE V1 ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แท่งสอบเทียบมาตรฐาน V1

2.3.6 สารช่วยสัมผัส (Couplant)

เป็นสารที่เข้าไปแทนที่ซ่องว่างของอากาศระหว่างหัวตรวจสอบกับชิ้นงานเนื่องจากอากาศมีความต้านทานเสียง (Impedance) ที่ต่างจากชิ้นงานมากทำให้คลื่นเสียงผ่านจากหัวตรวจสอบเข้าไปใน

ชิ้นงานได้น้อยมากสารช่วยสัมผัสมีสถานะเป็นได้ทั้งของเหลวถึงของเหลวเช่นแป้งเปียกหรือแม้กระทั่งของแข็งสารช่วยสัมผัสที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

- ไม่เป็นอันตรายต่อชิ้นงานหัวตรวจสอบและผู้ทดสอบ
- มีส่วนผสมสม่ำเสมอกระจายได้ดีตลอดทั่วทั้งชิ้นงานไม่มีช่องอากาศ
- สามารถเกาะติดได้บริเวณผิวชิ้นงานและสามารถกำจัดออกได้ง่าย
- สามารถส่งผ่านคลื่นเสียงได้ดีมีค่าความต้านทานคลื่นเสียงใกล้เคียงกับชิ้นงาน

2.3.7 หัวตรวจสอบ

ประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญดังต่อไปนี้

- ตัวเรือนภายนอก (Case) เพื่อทำให้หัวตรวจสอบรักษารูปร่างอยู่ได้และคงทนต่อการใช้งาน
- แผ่นป้องกันการสึก (Wear plate) เป็นแผ่นที่ใช้รองกันสึกเพื่อไม่ให้ผลึกที่มักทำจะวัสดุเพียโซอิเลคทริค (PZT) ขัดสีกับผิวชิ้นงานโดยตรง
- ผลึกเพียโซอิเลคทริค เป็นส่วนสำคัญที่สุดของหัวตรวจสอบ เป็นชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานทางไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล และเปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ขนาดของความถี่ธรรมชาติของผลึกเป็นตัวกำหนดความไวในการทดสอบ
- วัสดุรองหลัง (Backing material) เป็นตัวที่ทำหน้าที่ป้องกันเสียงสะท้อนภายในผลึกและเป็นตัวกำหนดระยะเวลาในการสั่นสะเทือนของผลึก ถ้าใช้วัสดุรองหลังที่มีการหน่วงสูง (Damp) จะทำให้ระยะเวลาในการสั่นสะเทือนของผลึกสั้นลง ทำให้หัวตรวจสอบมีความสามารถในการแยกแยะที่สูงขึ้นแต่ความสามารถในการทดสอบต่ำลง และจะให้ผลในทางที่กลับกันถ้าเลือกวัสดุที่มีความหน่วงต่ำ
- อีพอกซี่ (Epoxy) ใช้เติมลงไปในช่องว่างของหัวตรวจสอบ เพื่อทำให้ชิ้นส่วนต่างๆ คงอยู่ในตำแหน่งเดิมตลอดระยะเวลาการใช้งาน

2.3.8 ชนิดของหัวตรวจสอบ

มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับการใช้งาน ได้แก่

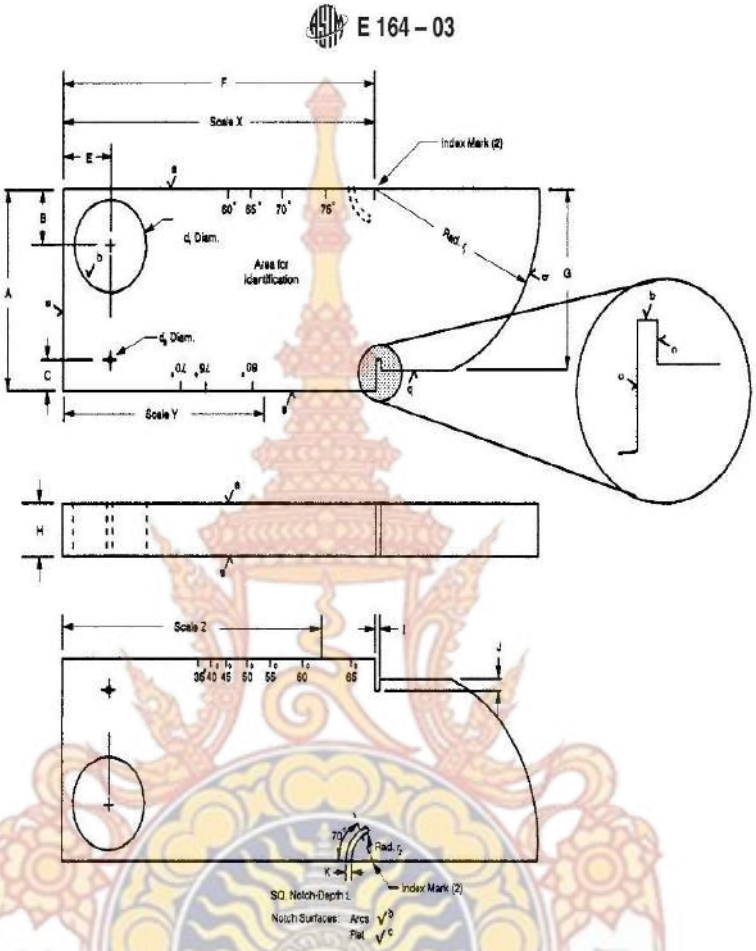
- หัวตรวจสอบแบบหัวตรง (Normal probe หรือ Straight beam) ใช้ทดสอบความหนาของชิ้นงานหรือรอยความไม่ต่อเนื่องที่มีทิศทางขนานกับผิวของชิ้นงาน คลื่นที่ใช้ทดสอบเป็นชนิดคลื่นตามยาว
- หัวตรวจสอบแบบเอียง (Angle probe หรือ Angle beam) ใช้ทดสอบรอยความไม่ต่อเนื่องที่วางอยู่ในแนวเอียงกับผิว หรือทดสอบในบริเวณที่ใช้ทดสอบแบบหัวตรงไม่ได้เช่น ในงานเชื่อม
- หัวตรวจสอบแบบดีเลย์ทิป (Delay tip) จะมีซูเป็นส่วนประกอบทำให้แยกแยะความกว้างของพัลส์เริ่มต้น (IP) ออกจากผิวหน้า หรือลดระยะเขตอับ (Dead zone) ได้นั่นเอง

หัวตรวจสอบแบบแปรงทาสี (Paint brush) มีรูปร่างคล้ายแปรงทาสี มีขนาดใหญ่สามารถทดสอบครั้งเดียวได้เป็นบริเวณกว้าง

- หัวตรวจสอบแบบทีอาร์ (T - R probe) เป็นหัวตรวจสอบที่มีผลึกจำนวน 2 ผลึกแยกทำหน้าที่ในการส่งและรับคลื่นเสียง ทำให้เพิ่มความสามารถในการทดสอบหารอยความไม่ต่อเนื่องที่อยู่ใกล้ผิว หรือใช้ทดสอบความหนาของชิ้นงานที่มีขนาด 1 - 3 มิลลิเมตรได้

2.4 มาตรฐาน ASTM E164

ดังรูปที่ 2.12 คือมาตรฐาน ASTM E164 สำหรับการสร้างแท่งสอบเทียบมาตรฐาน V1 โดยจากภาพจะบอกขนาดและมิติ ค่าความเรียบผิว ค่าพิกัดความเผื่อ และสเกลต่างๆ ดังตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.12 มาตรฐาน ASTM E164 สำหรับการสร้างแท่งสอบเทียบมาตรฐาน V1

ตารางที่ 2.2 ขนาดและสเกลของมาตรฐาน ASTM E164

ตำแหน่ง	ขนาด (mm)	ค่าความคลาดเคลื่อน(mm)
A	100	0.1
B	30	0.1
C	15	0.1
d1	50	0.2
d2	1.5	0.02
E	35	0.1
F	200	0.1
G	91	0.1
H	25	0.1
I	2	0.1
J	6	0.1
K	3	0.1
L	1.5	0.1
r1	100	0.2
r2	25	0.2
X	30tan +35	0.1
Y	15tan +35	0.1
Z	70tan +35	0.1

ค่าความเรียบของพื้นผิวตามมาตรฐานASTM E164 ประกอบไปด้วย

ตำแหน่ง a มีความเรียบผิวที่ยอมรับได้มากที่สุด คือ 0.8 μm max หรือน้อยกว่า

ตำแหน่ง b มีความเรียบผิวที่ยอมรับได้มากที่สุด คือ 1.6 μm max หรือน้อยกว่า

ตำแหน่ง c มีความเรียบผิวที่ยอมรับได้มากที่สุด คือ 3.2 μm max หรือน้อยกว่า

จากมาตรฐาน ASTM E164 มีหมายเหตุดังนี้

หมายเหตุ 1 วัสดุตามข้อกำหนด

หมายเหตุ 2 อธิบายจากสเกล 60°, 65°, 70° และ75° สเกลของแกน X คือ 60° - 75° จะเพิ่มขึ้นทีละ 1°

หมายเหตุ 3 อธิบายจากสเกล 70°, 75° และ 80° สเกลของแกน Y คือ 70° - 80° จะเพิ่มขึ้นทีละ 1°

หมายเหตุ 4 อธิบายจากสเกล 35°, 40°, 45°, 50°, 55°, 60° และ 65° สเกลของแกน Z คือ 35° - 65° จะเพิ่มขึ้นทีละ 1°

หมายเหตุ 5 เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดความคมที่ขอบของแท่งสอบเทียบ จะต้องลดการเกิดส่วนเกินออกหรือลบรอยบากและเสี้ยนออกในการทำขอบของแท่งสอบเทียบ แต่จะถูกทำให้เรียบด้วย

การทำมุมเอียงหรือการลบเหลี่ยมมุม โดยทำการรักษามุมไม่ให้ขนาดของขอบลดลงมากกว่า 0.020 นิ้ว หรือ 0.5 mm

หมายเหตุ 6 หน่วยอังกฤษและ หน่วยเมตริกเป็นตัวชี้วัดที่แสดงถึงค่าที่ใช้สำหรับแท่งสอบเทียบจะมีค่าความแตกต่างกันทั้ง 2 หน่วย นั่นคือตามหลักของหน่วยอังกฤษและ หน่วยเมตริกไม่จำเป็นต้องมีค่าเทียบเท่า

2.5 เหล็กกล้า

เหล็กกล้า คือ โลหะผสมเหล็กกับคาร์บอน ซึ่งอาจมีส่วนผสมของธาตุอื่นบ้างพอประมาณ เหล็กกล้ามีหลายชนิดที่มีส่วนผสมทางเคมีหรือกรรมวิธีทางความร้อนที่แตกต่างกัน ส่วนสมบัติทางกลนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนซึ่งปกติมีปริมาณน้อยกว่า 1.0% โดยน้ำหนัก โดยทางคณะผู้จัดทำโครงงานวิศวกรรมนี้ได้พิจารณาเอาเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง และเหล็กกล้าไร้สนิมมาเป็นวัสดุทดลองในงานวิจัย โดยเหล็กกล้าแต่ละชนิดมีข้อมูลจำเพาะและรายละเอียดดังต่อไปนี้

ก. เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low carbon steel)

เป็นเหล็กกล้าซึ่งปกติมีปริมาณคาร์บอนน้อยกว่า 0.25% โดยน้ำหนัก และไม่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนเพื่อทำให้เป็นโครงสร้างมาร์เตนไซต์ โครงสร้างทางจุลภาคประกอบด้วยเฟอร์ไรต์และเพิร์ลไลต์ ทำให้เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำนี้ค่อนข้างอ่อนและไม่ค่อยแข็งแรง แต่มีความเหนียวและความแกร่งดีมาก จึงสามารถกลึง ไส เชื่อมได้ และสามารถผลิตได้ในราคาค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับเหล็กกล้าชนิดอื่นๆ โดยองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำแสดงในตารางที่ 2.3 และ 2.4

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

องค์ประกอบทางเคมี	เปอร์เซ็นต์ (٪)
คาร์บอน (C)	0.14-0.20 ٪
เหล็ก (Iron)	98.81-99.26 ٪
แมงกานีส (Mn)	0.60-0.90 ٪
ฟอสฟอรัส (P)	≤ 0.04 ٪
ซัลเฟอร์ (S)	≥ 0.05 ٪

ตารางที่ 2.4 สมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

สมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ	
ความแข็ง (Hardness)	126 HB
แรงดึงสูงสุด (Tensile Strength, Ultimate)	440 MPa
ความต้านแรงดึง (Tensile Strength, Yield)	370 MPa
การยืดตัวเมื่อขาด (Elongation at Break)	15 ٪
โมดูลัสของความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)	205 GPa
อัตราส่วนปัวซอง (Poissons Ratio)	0.290
แรงเฉือนโมดูลัส (Shear Modulus)	80 GPa

โดยวัสดุที่เลือกใช้จากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำประเภทนี้คือ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ SS400 (มาตรฐาน JIS SS400) เป็นเหล็กพื้นฐานที่ได้รับความนิยมในการใช้งานด้านโครงสร้างต่างๆ เนื่องด้วยราคาที่ถูกและความสามารถในการเชื่อมประกอบกับง่ายต่อการตัดกลึงทำให้ได้รับการยอมรับในหลากหลายการใช้งาน โดยองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ SS400 แสดงในตารางที่ 2.5 และ 2.6

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด SS400

องค์ประกอบทางเคมี	เปอร์เซ็นต์ (٪)
คาร์บอน (C)	≤ 0.20 ٪
แมงกานีส (Mn)	1.40 ٪
ฟอสฟอรัส (P)	≤ 0.05 ٪
ซัลเฟอร์ (S)	≤ 0.05 ٪

ตารางที่ 2.6 สมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด SS400

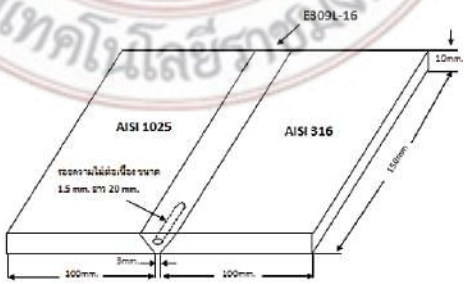
สมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด SS400	
ความแข็ง (Hardness)	160 HB
แรงดึงสูงสุด (Tensile Strength, Ultimate)	400-510 MPa
ความต้านแรงดึง (Tensile Strength, Yield)	205-245 MPa
โมดูลัสของความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)	190-210 GPa
อัตราส่วนปัวซอง (Poissons Ratio)	0.26
ความหนาแน่น (Density)	7,860 kg/m^3

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธารทิพย์ ฉายศิริวัฒนา บวรโชค ผู้พัฒน์ [4] งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาวิธีการตรวจสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง สำหรับวัสดุเติมป้องกันการกัดกร่อน บริเวณหน้าแปลนข้อต่อ โดยการนำวัสดุซึ่งเป็น Wax Base มาอุดลงในช่องว่างระหว่างหน้าแปลน เพื่อป้องกันการกัดกร่อนผิวด้านในของหน้าแปลนแต่เนื่องจากวัสดุเติมดังกล่าวอาจมีการสลายตัวหรือหลุดลอกในระหว่างการใช้งาน จึงได้พัฒนาวิธีการตรวจสอบ โดยการตรวจสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงด้วย เทคนิคการส่งผ่านคลื่นเสียง โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย แหล่งผลิตกระแสไฟฟ้าพัลส์และรับสัญญาณพัลส์ (Pulser - Receiver) ยี่ห้อ OLYMPUS PANAMETRICS - NDT รุ่น 5077PR ทำหน้าที่ผลิตกระแสฟ้าพัลส์ให้กับหัวตรวจสอบและในทางกลับกัน จะรับสัญญาณพัลส์จากชิ้นงานส่งกลับไปยัง Pulser - Receiver ซึ่งหัวตรวจสอบ (Probe) ที่ใช้ในการทดลองมีความถี่ 1.25 MHz จำนวน 2 หัวตรวจสอบ ซึ่ง Wax Base มีการลดทอนทางคลื่นเสียงที่สูง ในการศึกษานั้นได้จำลองรอยความไม่ต่อเนื่องต่างๆ โดยพิจารณาผลกระทบของรอยความไม่ต่อเนื่องจากค่าแอมพลิจูดสัญญาณ ซึ่งสามารถนำมาเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ของรอยความไม่ต่อเนื่องกับแอมพลิจูดได้

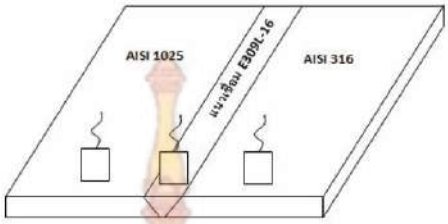
บุญเหลือ ขวัญศรี อาษา ประทีปเสน [5] จากงานวิจัยได้ทำการศึกษาผลกระทบของขนาดเกรนและแนวรีดต่อความเร็วและการลดทอนของคลื่นเสียงความถี่สูง โดยนำทฤษฎีการเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางของคลื่นเสียงและยกความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างตัวแปรกับการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วและการลดทอนของคลื่นเสียงความถี่สูงมาใช้ร่วมกับการทดสอบกับวัสดุทดลองประเภทเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เกรด SS400 S420 และ A516 ที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการอบและผ่านการอบปกติ (Normalizing) ซึ่งได้ทดสอบทั้งสองทิศทางของแนวการรีด การตรวจสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงใช้คลื่นทั้งที่เป็นชนิดคลื่นตามขวาง (Shear Wave) และคลื่นผิว (Surface Wave) ใช้หัวตรวจสอบที่ความถี่ 2.25 เมกะเฮิรตซ์ และ 4 เมกะเฮิรตซ์ ผลที่ได้คือความเร็วของคลื่นเสียงที่เปลี่ยนแปลง ไม่มีความสัมพันธ์กับขนาดเกรนและแนวรีดของโลหะ แต่ค่าการลดทอนของพลังงานคลื่นเสียงเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของเกรนและความแตกต่างของแนวรีดในโลหะ

ใหม่ น้อยพิทักษ์ สิทธิศักดิ์ จารุเนตรรัศมี [6] งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงความสามารถของคลื่นเสียงความถี่สูงในการทดสอบหารอยความไม่ต่อเนื่องภายในรอยเชื่อมโลหะต่างชนิด โดยใช้วัสดุในการทดสอบเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด AISI 1025 และเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI316 ขนาดหนา 10 มิลลิเมตร กว้าง 100 มิลลิเมตรยาว 150 มิลลิเมตร นำมาเชื่อมแบบต่อชน (Single vee groove 60°) เชื่อมต่อด้วยกระบวนการเชื่อมลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊ก ลวดเชื่อม E309L -16 ชิ้นงานเชื่อมแสดงดังรูปที่2.13



รูปที่ 2.13 ชิ้นงานเชื่อม

ในการทดสอบได้ใช้เครื่องทดสอบคลื่นเสียงความถี่สูงรุ่น GE USM 35X หัวตรวจสอบความถี่ 4 เมกะเฮิร์ต (MHz) ใช้หัวตรวจสอบแบบตรง หัวตรวจสอบแบบเอียง มุม 45° 60° 70°และหัวตรวจสอบแบบตรง 2 หัว ใช้เทคนิคการส่ง-รับคลื่นเสียงความถี่สูง (Through transmission)



รูปที่ 2.14 การทดสอบการลดทอนและการหาค่าความเร็วคลื่นเสียงความถี่สูง

ค่าการลดทอนเนื่องจากการกระเจิงของสัญญาณที่บริเวณรอยต่อของสองโครงสร้าง เนื่องจากมีการลดทอนเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่างแนวเชื่อมกับบริเวณที่ได้รับ ผลกระทบจากความร้อน ซึ่งบริเวณดังกล่าวเป็นจุดเปลี่ยนเฟสจากเฟอร์ริติกไปเป็นออสเทเนติก ทำให้มีการเกิดกระเจิงของคลื่นเสียงความถี่สูง จึงไม่สามารถตรวจพบรอยความไม่ต่อเนื่อง

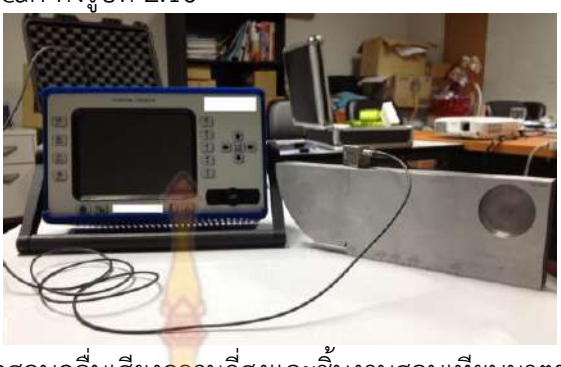
นครินทร์ โพธิดอกไม้ อาษา ประทีปเสน [7] งานวิจัยนี้ได้ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเชื่อมที่ทำให้เกิดรอยความไม่ต่อเนื่องชนิดการหลอมละลายด้านข้างไม่สมบูรณ์ ด้วยการทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง ซึ่งบุคลากรที่ทดสอบรอยเชื่อมถ้าขาดความรู้ความเชี่ยวชาญในการทดสอบ จะส่งผลให้มีความผิดพลาดในการวิเคราะห์ผล โดยคณะผู้วิจัยได้เชื่อมชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เตรียมรอยต่อแบบต่อชน ใช้เทคนิคการให้ความร้อนไม่เพียงพอในการหลอมละลายชิ้นงาน และเทคนิคการเอียงลวดเชื่อมไปด้านใดด้านหนึ่ง ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์ก และทดลองโดยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสีและทดสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงเพื่อยืนยันผล งานวิจัยสามารถสร้างชิ้นทดสอบฝึกหัด สำหรับใช้ในการทดสอบหรือ ใช้ในการฝึกบุคลากรด้านการทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูงได้

ธีรพงศ์ นิรัตติวงศกรณ์ น.ท. สิทธา สายดาราสมุทร ร.น. ธีรทัศน์ พรยั่งยืน [8] จากงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาท่อบรรจุดินขับด้วยการใช้เทคนิคการทดสอบแบบไม่ทำลายโดยการตรวจสอบคลื่นเสียงความถี่สูง โดยวิธีที่นี้จะไม่ทำให้คุณสมบัติต่างๆของท่อบรรจุดินขับลดลง



รูปที่ 2.15 ชิ้นส่วนหลักของจรวด

เครื่องมือทดสอบคลื่นเสียงความถี่สูงเป็นชนิด Pulse – Echo ซึ่งใช้ตัวส่งและตัวรับสัญญาเป็นชุดเดียวกัน ปรับตั้งเป็นชนิด A-Scan ดังรูปที 2.16



รูปที่ 2.16 เครื่องมือทดสอบคลื่นเสียงความถี่สูงและชิ้นงานสอบเทียบมาตรฐาน IIW Block

ผู้ศึกษาได้เลือกใช้การตรวจสอบคลื่นเสียงความถี่สูง ชนิดแบบ Pulse –Echo โดยเลือกใช้หัวส่งสัญญาณเป็นชนิดหัวตรง (Normal Probe) ในการตรวจหาการแยกชั้นในเนื้อวัสดุ (Lamination) และหัวมุม (Angle Probe) ใช้ในการตรวจหารอยตำหนิในแนวเชื่อม รวมถึงการทำ DAC Curve การคำนวณระยะสแกนหรือพื้นที่ที่ใช้ในการตรวจสอบเพื่อให้คลอบคลุมพื้นที่รอยเชื่อมทั้งหมดโดยอ้างอิงหลักการ วิธีการและข้อกำหนด จากมาตรฐาน ASME

ดิเรก หาญณรงค์ อาษา ประทีปเสน [9] จากงานวิจัยได้มีการตรวจสอบหารอยบกพร่องในชิ้นงานทั้งที่ชิ้นงานได้ผ่านการพ่นสีหรือพ่นพอกด้วยวัสดุชนิดต่างๆ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของการพ่นพอกอลูมิเนียมด้วยความร้อน (Aluminum Thermal Spray Coating) ที่มีผลต่อการทดสอบด้วยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง การทดลองได้ทดสอบกับวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำชนิด S420 ผ่านการเคลือบผิวด้วยการพ่นพอกอลูมิเนียมด้วยความร้อน ที่ความหนา 100, 200, 300, 400, 500 ไมครอน การทดสอบความสมบูรณ์ของการยึดเกาะของพื้นผิวกับอลูมิเนียมด้วยวิธีการดึง (Pull off Test) ดังแสดงในรูปที่2.17



รูปที่ 2.17 ทดสอบการยึดเกาะผิวอลูมิเนียม วิธี Pull off Test

การทดสอบใช้คลื่นชนิดตามยาว (Longitudinal wave) และ คลื่นผิว (Surface wave) กับหัวตรวจสอบที่มีความถี่ 5 เมกะเฮิร์ทซ (MHz) และ 2.25 เมกะเฮิร์ทซ และวัดความเปลี่ยนแปลงของ

ความสูงของสัญญาณสะท้อน (Echo height) การลดทอน และความเร็วของคลื่นเสียง จากผลการทดลองการตรวจสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงบนชิ้นงานที่เคลือบผิวอลูมิเนียมโดยใช้คลื่นตามยาวที่ความถี่ 5 เมกะเฮิร์ทซ พบว่า (Echo height) ลดลงแปรผันตามความหนาของอลูมิเนียมซึ่ง สามารถปรับ Gain dB ให้สัมพันธ์กับค่าของการการลดทอนนั้นได้และลการทดลองไม่แนะนาให้ใช้หัวตรวจสอบที่มีความถี่ 2.25 เมกะเฮิร์ทซ ตรวจสอบบนชิ้นงานที่เคลือบผิวอลูมิเนียมซึ่งอาจทำให้มีผลต่อการประเมินการตัดสินยอมรับหรือปฏิเสธของรอยความไม่ต่อเนื่องนั้นได้

Dan Dobrotă [10] ได้ทำการศึกษาเรื่อง Vulcanization of Rubber Conveyor Belts with Metallic Insertion Using Ultrasounds งานวิจัยได้ศึกษาถึงชนิดของสายพานลำเลียงที่เสริม metallic เข้าไปในยาง ATRBZ เพื่อเพิ่มอายุของสายพานลำเลียง พิจารณาจาก 2 กระบวนการ Ultrasounds และไม่ได้ใช้ กระบวนการที่มีการใช้ Ultrasounds ที่ความถี่อยู่ในช่วง 17-19 kHz ซึ่ง Metallic มีการหลอมรวมกับการแทรกโลหะและฝังได้ดีกว่า

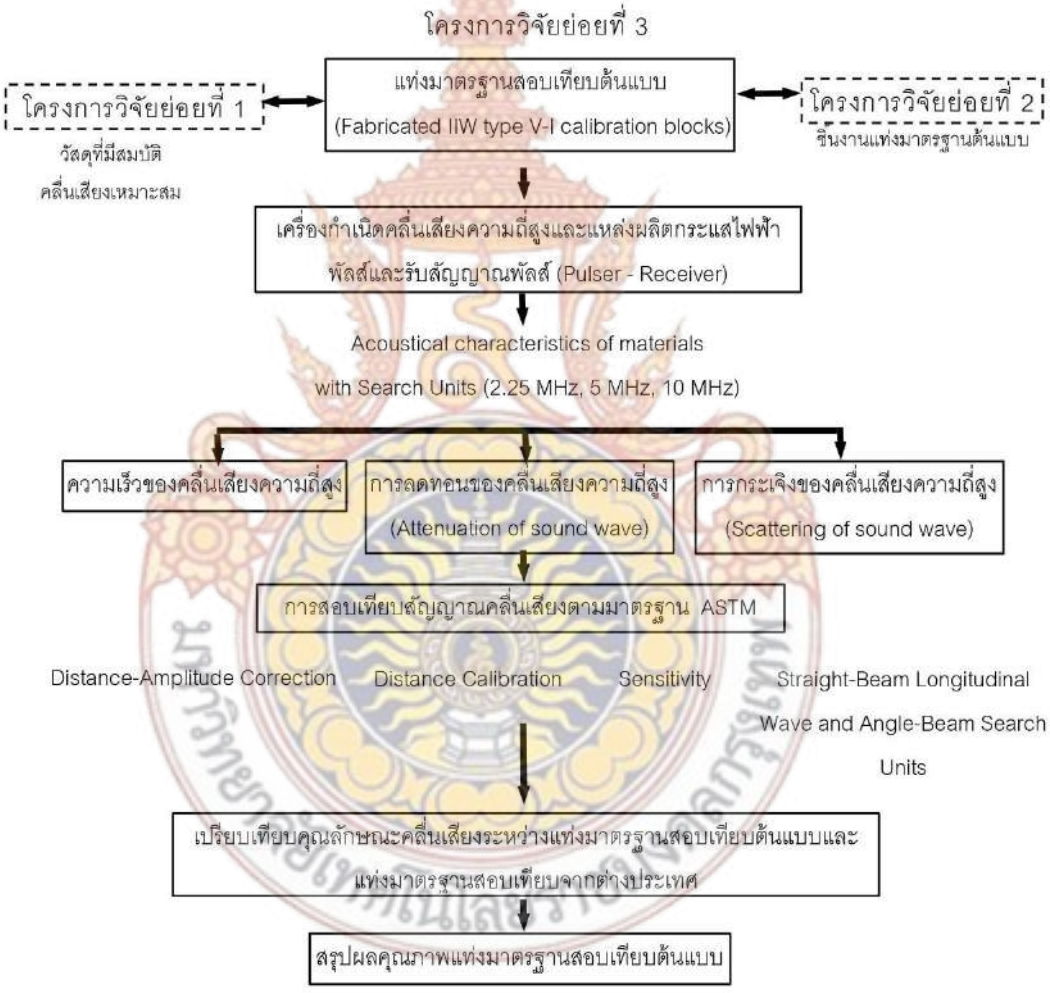
E. Pan, J. Rogers, S.K. Datta, A.H. Shah [11] ได้ทำการศึกษาเรื่อง Mode selection of guided waves for ultrasonic inspection of gas pipelines with thick coating โดยได้มีการสร้างแบบจำลองพฤติกรรม viscoelastic ของชั้นเคลือบ และสมบัติของ Viscoelastic ของชั้นเคลือบทำให้จำนวนคลื่นทั้งหมดซับซ้อนมีการวิธี Rayleigh-Ritz ใช้เพื่อให้ได้ค่าประมาณของจำนวนคลื่นที่ซับซ้อนโหมดเหล่านี้สามารถเลือกใช้สำหรับการตรวจสอบ stress-corrosion cracks ในงานท่อขนส่ง pipelines

Junho Song and D. E. Chimenti [12] ได้ทำการศึกษาเรื่อง Design, Fabrication and Characterization of a Spherically Focused Capacitive Air-Coupled Ultrasonic Transducer การออกแบบหัวรับสัญญาณที่ไม่มีกระจกรองภายนอกแต่ใช้แผ่น copper/polyimide ทดสอบหนึ่งชิ้นที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 ซม. และโฟกัส 2.54 ซม. และอีกเส้นหนึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตรและโฟกัส 5.1 ซม. อุปกรณ์ทั้งสองมีสเปกตรัมความถี่อยู่ตรงกลางที่ 840 kHz โดยมี -6 dB ที่ 310 และ 1200 kHz เมื่อใช้เครื่องรับสัญญาณกึ่งกลางเส้นผ่านศูนย์กลางของลำแสงจะอยู่ที่ 2.7 มม. (อุปกรณ์ 1 ซม.) และ 1.32 มม. (อุปกรณ์ 5 ซม.) ซึ่ง confocal geometry จะแสดงความละเอียดที่ขีด จำกัด การเลี้ยวเบนของอุปกรณ์นี้

M. Arone, D. Cerniglia, V. Nigrelli [13] ได้ทำการศึกษาเรื่อง Defect characterization in Al welded joints by non-contact Lamb wave technique โดยใช้เทคนิค Non-contact ultrasonic inspection เพื่อตรวจจับข้อบกพร่องในข้อต่อและข้อได้เปรียบของคลื่น Lamb ซึ่งการกระจายตัวของคลื่น Lamb จะช่วยให้สามารถตรวจสอบความหนาที่สมบูรณ์ได้ด้วยการสแกนเพียงครั้งเดียว ตรวจจับและกำหนดขนาดของข้อบกพร่องทั้งภายในและพื้นผิวได้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้คอนฟิกูเรชัน L-scan เพื่อตรวจสอบโครงสร้างการเข้าถึงด้านเดียวและเปรียบเทียบกับ A, B, C และ P-scan

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานทดลองงานวิจัย

วิธีการดำเนินงานการทดสอบความสามารถในการสอบเทียบคลื่นเสียงของแท่งมาตรฐานต้นแบบสำหรับการตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูงตามมาตรฐาน ASTM E164 เพื่อเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ เช่น การศึกษาสมบัติคลื่นเสียงของแท่งมาตรฐานสอบเทียบต้นแบบในการตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูงและการศึกษาความสามารถในการสอบเทียบคลื่นเสียงของแท่งมาตรฐานต้นแบบสำหรับการตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูงตามมาตรฐาน ASTM E164 โดยมีขั้นตอนแนวคิดของการวิจัยดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนแนวคิดของโครงการวิจัย

3.1 การตรวจสอบความเร็วคลื่นเสียงแท่งมาตรฐานต้นแบบและแท่งมาตรฐานสอบเทียบ IIW type V-I

3.1.1 การตรวจสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง (Ultrasonic Testing)

ในการทำการตรวจสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงหรือการใช้งานเครื่องอัลตราโซนิคนั้น จะต้องทำการสอบเทียบ (Calibration) กับแท่งสอบเทียบมาตรฐาน (Calibration Block V1) ทุกครั้งก่อนการตรวจสอบหรือวัดขนาดของวัสดุ การสอบเทียบเครื่องมือก่อนการตรวจสอบเป็นการกำหนดช่วงระยะทางการเดินทางของคลื่นเสียงที่สามารถตรวจสอบวัสดุได้

1) แท่งสอบเทียบมาตรฐาน (Calibration Block V1)



รูปที่ 3.2 แทงสอบเทียบมาตรฐาน (Calibration Block V1)

ดังรูปที่ 3.2 การตรวจสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงกับแท่งสอบเทียบมาตรฐาน (Calibration Block V1) หลักจากการสอบเทียบเครื่องมือก่อนการตรวจสอบแล้ว สามารถนำเครื่องมือมาตรวจสอบการลดทอนคลื่นเสียงของแท่งสอบเทียบมาตรฐาน ด้วยการใช้หัวตรวจสอบ (Probe) ทั้ง 2 แบบ ได้แก่ หัวตรวจสอบแบบ Normal Probe และแบบ Angle Probe ซึ่งมีความถี่และมุมในการตรวจสอบที่แตกต่างกันไป แสดงดังรูปที่ 3.3 โดยใช้สารนำคลื่น (Couplant) เป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อการส่งสัญญาณคลื่นเสียงเข้าไปในเนื้อวัสดุและกำจัดอากาศออกจากบริเวรผิวหน้าสัมผัสของวัสดุ แสดงดังรูปภาพที่ 3.4



รูปที่ 3.3 หัวตรวจสอบแบบ Normal Probe และแบบ Angle Probe



รูปที่ 3.4 สารนำคลื่น (Couplant)

3.1.2 การสอบเทียบคลื่นเสียงของแท่งมาตรฐานต้นแบบ

ทำการทดสอบความสามารถในการสอบเทียบคลื่นเสียงของแท่งมาตรฐานต้นแบบที่ผลิตขึ้นเองจากวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 โดยมีส่วนผสมทางเคมีตามตารางที่ 3.1 และแสดงดังรูปที่ 3.5 สำหรับการตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูงตามมาตรฐาน ASTM E164 โดยจะสอบเทียบกับหัวโพรบความถี่ 2. MHz, 5 MHz, 10MHz ในลักษณะ A-Scan ด้วยเครื่องตรวจสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง (Ultrasonic testing) รุ่น Krautkramer USM 36 ดังรูปที่ 3.6 ก) และ ข) การสอบเทียบแท่งมาตรฐานสอบเทียบ IIW type V-I

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมีของแท่งมาตรฐานต้นแบบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก %)

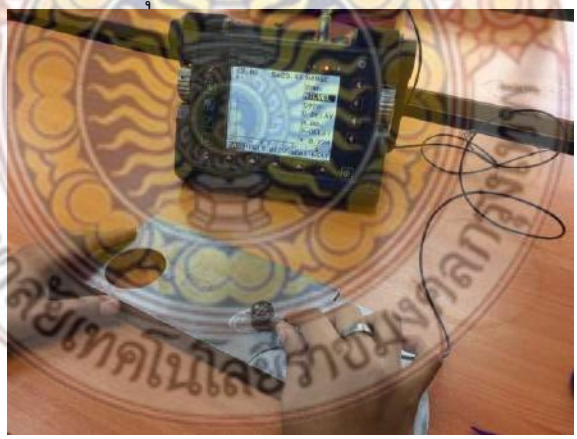
วัสดุ	ส่วนผสมทางเคมี								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Fe
SS400	0.2226	0.2409	0.4351	0.0133	0.0090	0.3791	0.0501	0.3791	Bal.



รูปที่ 3.5 แท่งมาตรฐานต้นแบบที่ผลิตขึ้น



ก) เครื่องตรวจสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง (Ultrasonic testing)
รุ่น Krautkramer USM 36



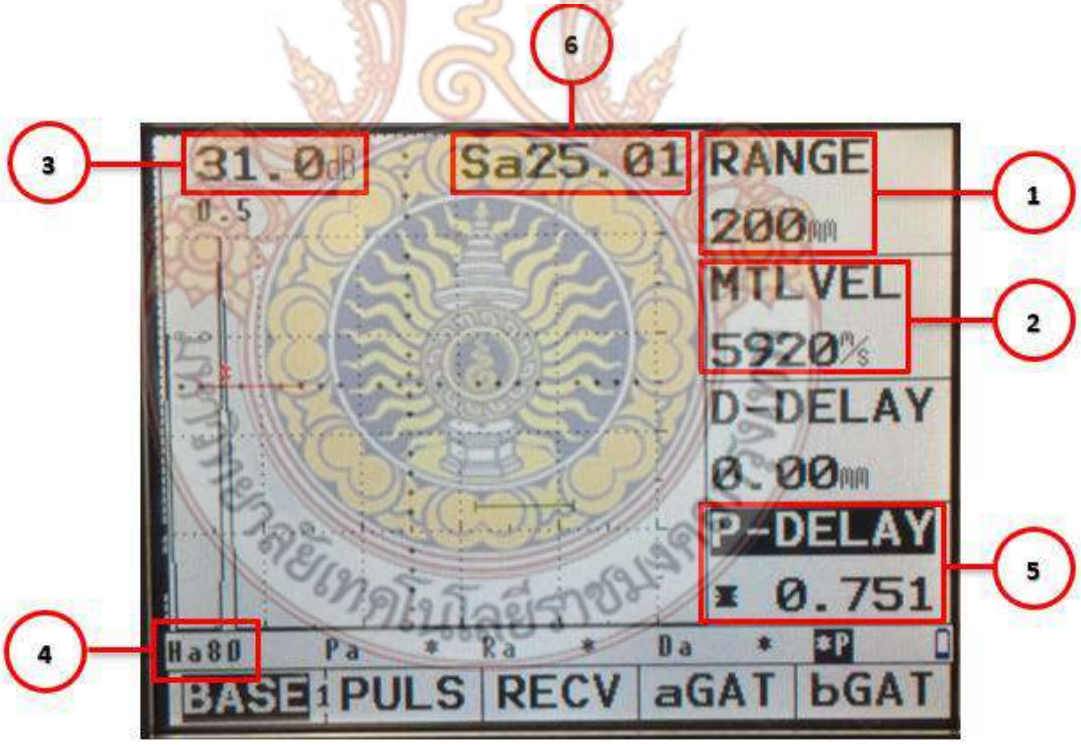
ข) การสอบเทียบแท่งมาตรฐานสอบเทียบ IIW type V-I

รูปที่ 3.6 การตรวจสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง

3.1.3 อธิบายการตั้งค่าต่างๆ ที่ปรากฏบนหน้าจอของเครื่องตรวจสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง รุ่น Krautkramer USM 36

ในรูปที่ 3.7 แสดงการตั้งค่าต่างๆ บนหน้าจอของเครื่อง ตามหมายเลขดังต่อไปนี้

- หมายเลข 1 คือ ย่านการวัดที่ใช้สำหรับแสดงขอบเขตในการวัดความเร็วคลื่นเสียงโดยความสูงในจุดที่ต้องการตรวจสอบ โดยจะใส่ค่าไปสองเท่าของความสูงของชิ้นงาน เพราะคลื่นเสียงที่ส่งไปจะสะท้อนกลับมา ดังนั้นความสูงที่เราวัดจะต้องบวกระยะทางที่สะท้อนกลับมาด้วย
- หมายเลข 2 คือ ค่าแสดงความเร็วคลื่นเสียง โดยค่าที่จะต้องใส่สามารถดูได้จากตาราง ซึ่งวัสดุแต่ละชนิดจะมีค่าความเร็วคลื่นเสียงที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องใส่ค่าความเร็วคลื่นเสียง ตามวัสดุที่เราต้องการตรวจสอบ
- หมายเลข 3 คือ ค่าพลังงานคลื่นเสียงที่ส่งผ่านเข้าไปในวัสดุที่ต้องการตรวจสอบ
- หมายเลข 4 คือ เปอร์เซ็นต์ของหน้าจอที่พลังงานพลังงานคลื่นเสียงที่ส่งผ่านเข้าไปในวัสดุที่ต้องการตรวจสอบ
- หมายเลข 5 คือ ค่าที่ปรับชดเชยของ Couplant ที่เข้าไปเป็นตัวกลางระหว่างหัวตรวจสอบกับวัสดุที่จะตรวจสอบ
- หมายเลข 6 คือ ค่าความสูงของวัสดุที่ได้จากการตรวจสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง



รูปที่ 3.7 ส่วนต่างๆ ที่ปรากฏบนหน้าจอของเครื่องตรวจสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง รุ่น Krautkramer USM 36

3.2 ขั้นตอนการเก็บผลการทดลอง

หลังจากทำการทดสอบการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบกับแท่งสอบเทียบมาตรฐานต่างประเทศทางผู้วิจัยได้ออกแบบตารางการเก็บผลการทดลองไว้ดังตามตารางที่3.2

ตารางที่ 3.2 การเก็บผลการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงแต่ละความถี่

ความถี่ 2,5และ 10 MHz						
Probe Delay = xxx µs						
ความสูง	25 mm	%A	91 mm	%A	100 mm	%A
ครั้งที่ 1	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
ครั้งที่ 2	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
ครั้งที่ 3	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
ค่าเฉลี่ย	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx

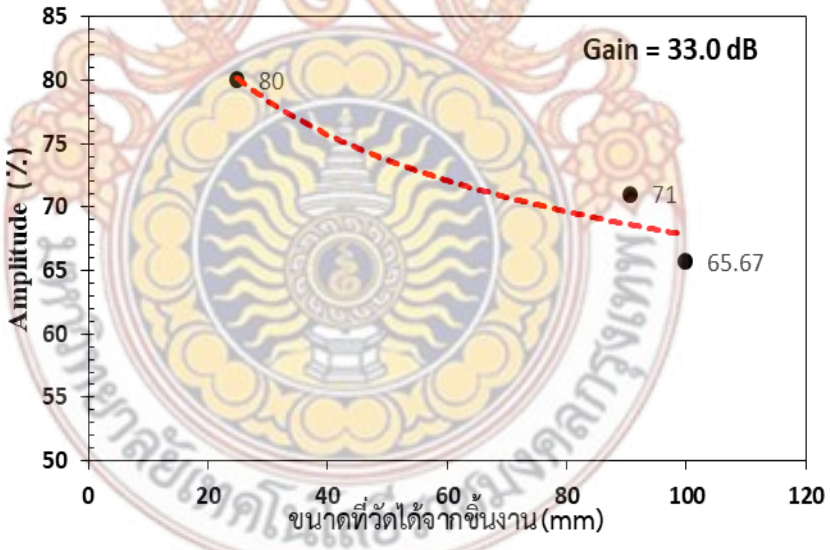
จากนั้นทำการสอบเทียบคลื่นเสียงความถี่สูงแท่งมาตรฐาน (Calibration Block V1) ที่นำเข้าจากต่างประเทศกับแท่งมาตรฐานต้นแบบที่ผลิตขึ้นเองจากวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 โดยแสดงผลการตรวจสอบดังในบทที่ 4

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการวิจัย

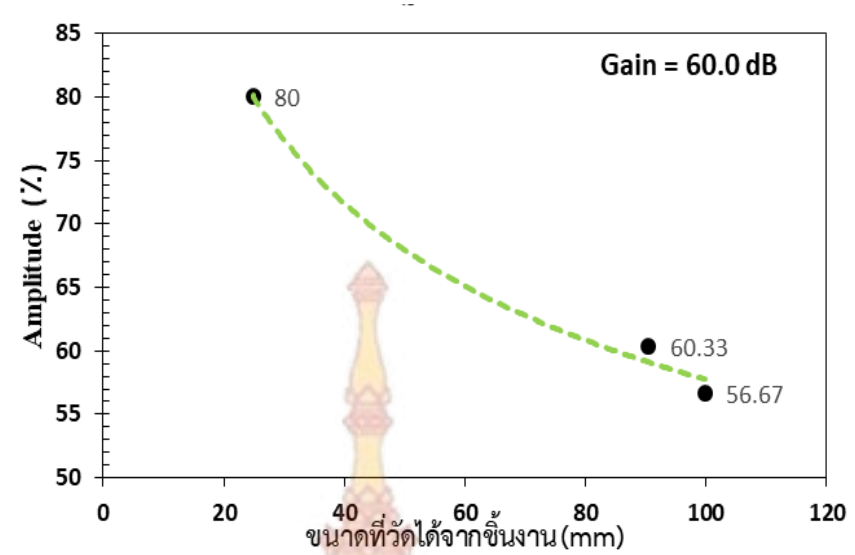
4.1 ผลการทดสอบการลดทอนคลื่นเสียง (Acoustic Attenuation) แท่งมาตรฐานต้นแบบ

4.1.1 ผลทดสอบการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ ที่ความถี่ 2 MHz, 5 MHz และ10 MHz

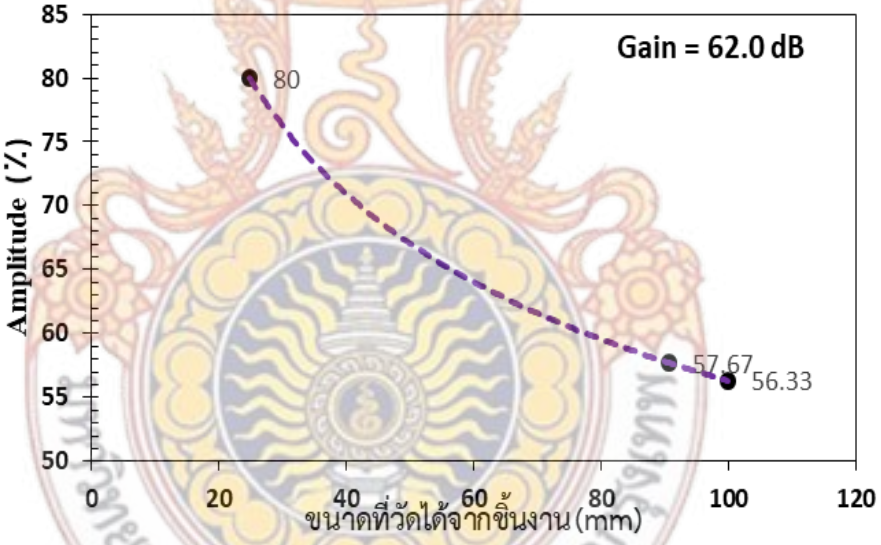
ในรูปที่ 4.1 แสดงการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบที่ความถี่ 2 MHz ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แกน X คือระยะทางของชิ้นงานและแกน Y คือ แอมพริจูดของคลื่นเสียง พบว่า โดยจุดแรกของเส้นการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของชิ้นงานจะเริ่มต้นแอมพริจูดที่ 80 และจะลดลงจนถึงแอมพริจูดสุดท้ายที่ค่า 65.67 ในขณะที่รูป 4.2 แสดงการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบที่ใช้ความถี่ 5 MHz แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แกน X และแกน Y โดยจุดแรกของเส้นการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของชิ้นงานจะเริ่มต้นแอมพริจูดที่ 80 และจะลดลงจนถึงแอมพริจูดสุดท้ายที่ค่า 56.67 และรูปที่ 4.3 แสดงการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ ที่ความถี่ 10 MHz โดยมีจุดแรกของเส้นการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของชิ้นงานเริ่มต้นแอมพริจูดที่ 80 ของความสัมพันธ์ระหว่าง แกน X และแกน Y และจะลดลงจนถึงแอมพริจูดสุดท้ายที่ค่า 56.33



รูปที่ 4.1 กราฟการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบที่ความถี่ 2 MHz



รูปที่ 4.2 กราฟการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบที่ความถี่ 5 MHz

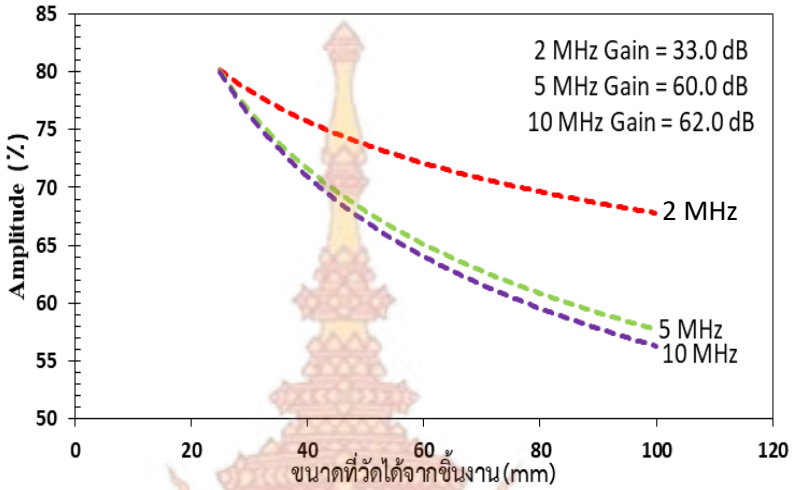


รูปที่ 4.3 กราฟการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบที่ความถี่ 10 MHz

4.1.2 กราฟเปรียบเทียบการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบที่ความถี่ 2 MHz, 5 MHz และ10 MHz

รูปที่ 4.4 แสดงกราฟการเปรียบเทียบการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบที่ความถี่ 2 MHz, 5 MHz และ 10 MHz พบว่าจากกราฟมีการลดทอนคลื่นเสียงมีการลดลงตามลำดับความถี่ โดยถ้าคลื่นเสียงที่ส่งผ่านเข้าไปในชิ้นงานมีความถี่น้อย การลดทอนคลื่นเสียงก็

จะน้อยตาม แต่ถ้าคลื่นเสียงที่ส่งผ่านเข้าไปในชิ้นงานมีความถี่มาก การลดทอนคลื่นเสียงก็จะมากเช่นกัน แต่อย่างก็ตามเมื่อทำการสังเกตที่ความถี่ 5 MHz และ 10 MHz ค่าที่ลดลงจนถึงแอมพริจูดสุดท้ายมีค่าใกล้เคียงกันไม่ต่างกันมากเท่าไหร่ แต่ความถี่ 2 MHz พบว่า ค่าที่ลดลงจนถึงแอมพริจูดสุดท้ายมีค่าสูงกว่าค่าความถี่ 5 MHz และ 10 MHz เห็นได้อย่างชัดเจน

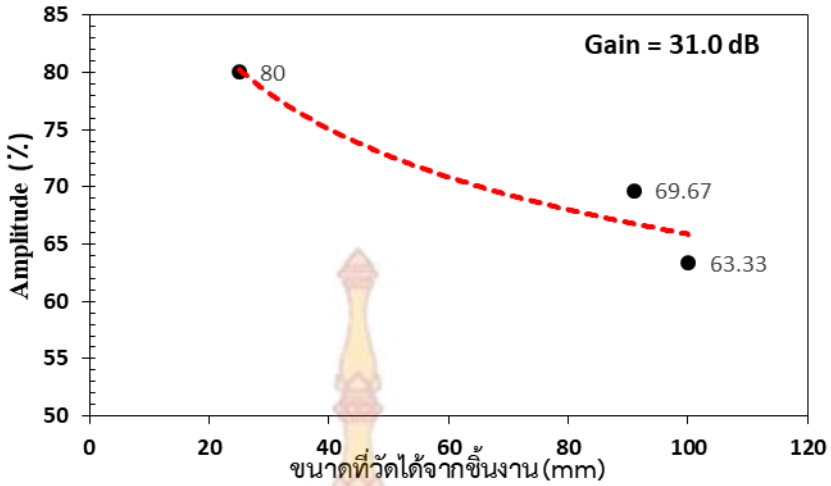


รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ ตามความถี่ต่างๆ

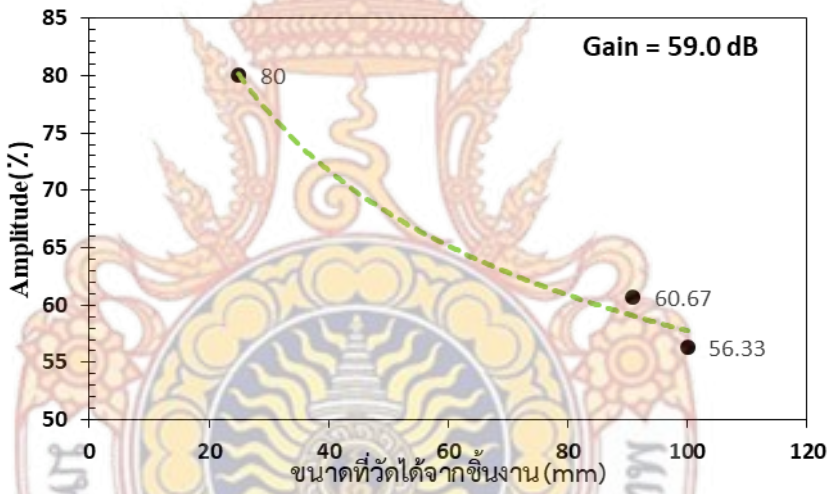
4.2 ผลการทดสอบการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานจากต่างประเทศ

4.2.1 ผลการทดสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานจากต่างประเทศที่ความถี่ 2 MHz, 5 MHz และ10 MHz

รูปที่ 4.5 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแกน X คือระยะทางของชิ้นงานและแกน Y คือแอมพริจูดของคลื่นเสียง โดยการทดสอบการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานจากต่างประเทศที่ความถี่ 2 MHz ซึ่งจุดแรกของเส้นการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของชิ้นงานจะเริ่มต้นแอมพริจูดที่ 80 และจะลดลงจนถึงแอมพริจูดสุดท้ายที่ค่า 63.33 และรูปที่ 4.6 แสดงการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานจากต่างประเทศ ความถี่ 5 MHz โดยจุดแรกของเส้นการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของชิ้นงานจะเริ่มต้นแอมพริจูดที่ 80 และจะลดลงจนถึงแอมพริจูดสุดท้ายที่ค่า 56.33



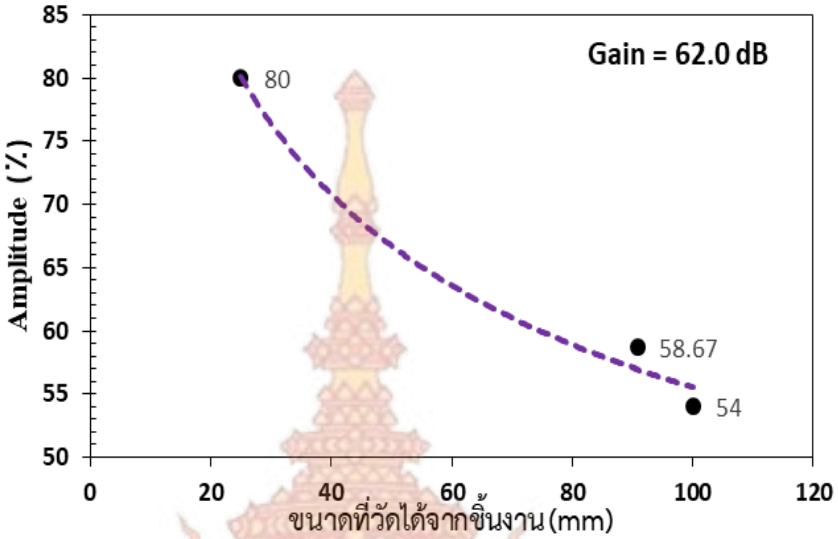
รูปที่ 4.5 กราฟการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานจากต่างประเทศ ที่ความถี่ 2 MHz



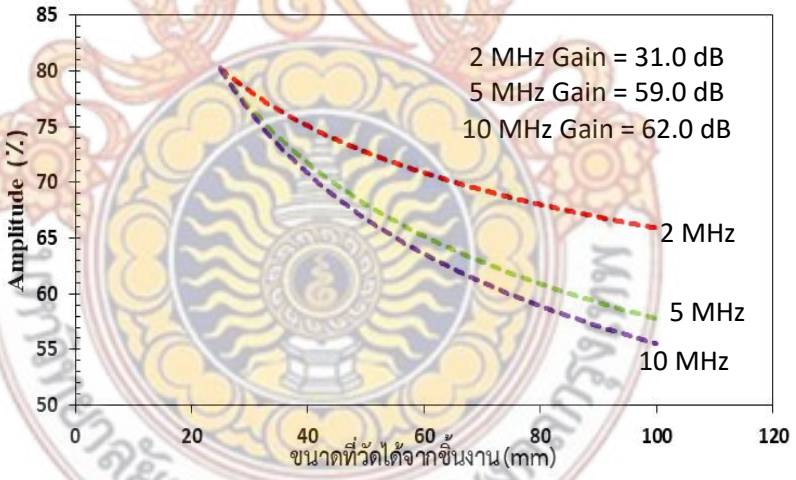
รูปที่ 4.6 กราฟการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานจากต่างประเทศความถี่ 5 MHz

ในขณะที่กราฟการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานจากต่างประเทศ ที่ความถี่ 10 MHz พบว่า มีจุดแรกของเส้นการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของชิ้นงานจะเริ่มต้นแอมพริจูดที่ 80 และจะลดลงจนถึงแอมพริจูดสุดท้ายที่ค่า 54 แสดงดังรูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง แกน X คือระยะทางของชิ้นงานและแกน Y คือ แอมพริจูดของคลื่นเสียง จากนั้นทำการเปรียบเทียบการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานจากต่างประเทศตามความถี่ความถี่ต่างๆ ได้แก่ 2 MHz, 5 MHz และ 10 MHz พบว่า กราฟมีการลดทอนคลื่นเสียงมีการลดลงตามลำดับความถี่ โดยถ้าคลื่นเสียงที่ส่งผ่านเข้าไปในชิ้นงานมีความถี่น้อย การลดทอนคลื่นเสียงก็จะน้อยตาม แต่ถ้าคลื่นเสียงที่ส่งผ่านเข้าไปในชิ้นงานมีความถี่มาก การลดทอนคลื่นเสียงก็จะมากเช่นกันแต่

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาความถี่ 5 และ10 MHz การลดทอนมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกันแสดงดังรูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานจากต่างประเทศ ตามความถี่ต่างๆ



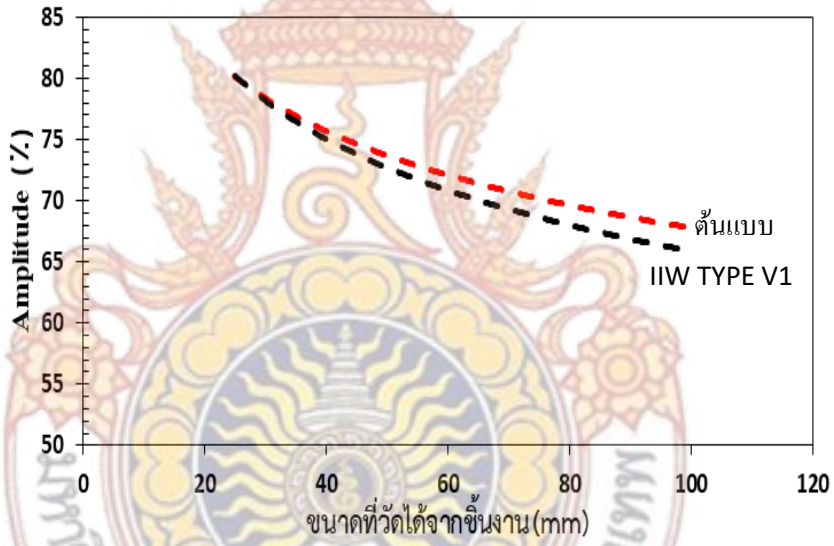
รูปที่ 4.7 กราฟการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานจากต่างประเทศที่ความถี่ 10 MHz



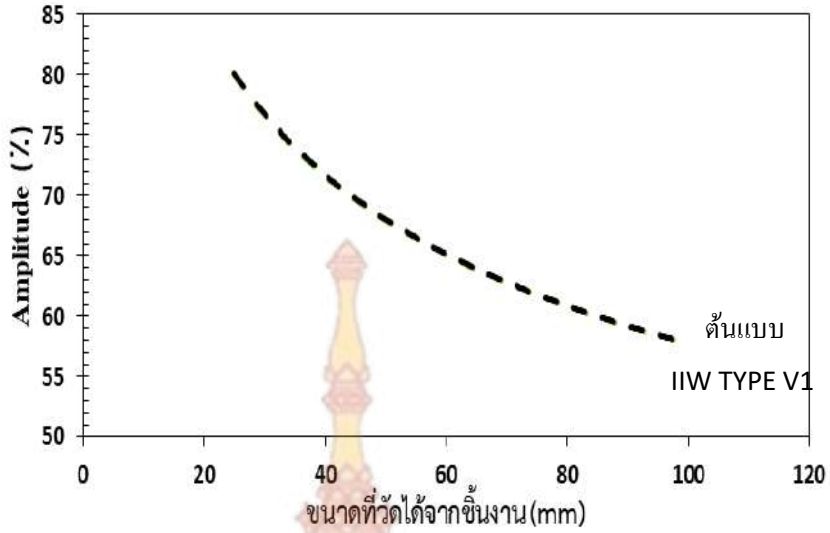
รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานจากต่างประเทศ ตามความถี่ต่างๆ

4.3 การเปรียบเทียบการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งมาตรฐานต้นแบบและแท่งมาตรฐานสอบเทียบ IIW type V-I แต่ละความถี่

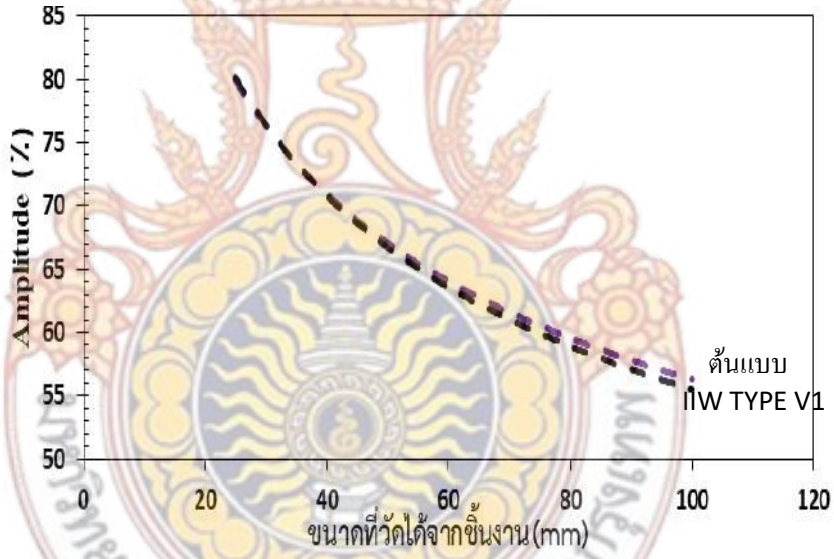
รูปที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบกับแท่งสอบเทียบมาตรฐานต่างประเทศที่ความถี่ 2 MHz โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแกน X คือระยะทางของชิ้นงานและแกน Y คือแอมพริจูดของคลื่นเสียง จากกราฟการเปรียบเทียบพบว่า แท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบที่ผลิตขึ้นจากวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS00 มีการลดทอนของคลื่นเสียงความถี่สูงซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์ของแอมพริจูดมีความใกล้เคียงกับการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต่างประเทศ ขณะที่การเปรียบเทียบการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบกับแท่งสอบเทียบมาตรฐานต่างประเทศที่ความถี่ 5 MHz พบว่า แท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบมีการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูง มีความใกล้เคียงกันกับการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต่างประเทศสังเกตจากเส้นแนวโน้มมีลักษณะเป็นเส้นเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 4.10 ซึ่งไม่เหมือนกับความถี่ 2 MHz มีเส้นแนวโน้มการลดทอนคลื่นเสี่ยงที่มีความแตกต่างกันของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบกับแท่งสอบเทียบมาตรฐานต่างประเทศ



รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบกับแท่งสอบเทียบมาตรฐานต่างประเทศ ที่ความถี่ 2 MHz



รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบกับแท่งสอบเทียบมาตรฐานต่างประเทศ ที่ความถี่ 5 MHz



รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบกับแท่งสอบเทียบมาตรฐานต่างประเทศ ที่ความถี่ 10 MHz

ในขณะที่รูป 4.11 แสดงการเปรียบเทียบการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบกับแท่งสอบเทียบมาตรฐานต่างประเทศ ความถี่ 10 MHz จากกราฟพบว่า แท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบมีการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงมีแนวโน้มของค่าเปอร์เซ็นต์ของแอมพริจูดมีความใกล้เคียงกับการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต่างประเทศ

อย่างไรก็ตามจากการเปรียบเทียบการลดทอนของคลื่นเสียงความถี่สูงระหว่างแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบกับแท่งสอบเทียบมาตรฐานต่างประเทศ โดยเปรียบเทียบ 3 ความถี สามารถสรุปได้ว่าที่ความถี่ 5 MHz ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของแอมพริจูดใกล้เคียงกับแท่งสอบเทียบมาตรฐานต่างประเทศมากที่สุด ขณะที่ความถี่ 10 MHz มีค่าเปอร์เซ็นต์ของแอมพริจูดใกล้เคียงรองลงมา และ 2 MHz มีค่าเปอร์เซ็นต์ของแอมพริจูดต่างกันเล็กน้อย ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบไว้ดังรูปที่ 4.9, 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การศึกษาการทดสอบความสามารถในการสอบเทียบคลื่นเสียงของแท่งมาตรฐานต้นแบบสำหรับการตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูงตามมาตรฐาน ASTM E164 โดยการทดสอบนี้ได้นำแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบที่ผลิตขึ้นเองตามมาตรฐาน ASTM E164 มาเปรียบเทียบกับแท่งสอบเทียบมาตรฐานต่างประเทศเพื่อดูความแตกต่างของการลดทอนคลื่นเสียงความถี่สูงแต่ละความถี่ต่างๆ ของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบที่ผลิตขึ้นเอง โดยสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

1) การใช้คลื่นเสียงที่ส่งผ่านเข้าไปในชิ้นงานของแท่งมาตรฐานต้นแบบที่ผลิตขึ้นเองที่มีความถี่ต่ำ (MHz) ส่งผลให้ค่าการลดทอนของคลื่นเสียงค่อนข้างน้อย แต่ในขณะที่ถ้าหากมีการใช้คลื่นเสียงที่ส่งผ่านเข้าไปในชิ้นงานของแท่งมาตรฐานต้นแบบที่มีความถี่สูงส่งผลทำให้การลดทอนของคลื่นเสียงเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกับ การใช้คลื่นเสียงที่ส่งผ่านเข้าไปในชิ้นงานของแท่งมาตรฐานสอบเทียบต่างประเทศ IIW type V-I ที่มีความถี่ต่ำ (MHz) ทำให้ค่าการลดทอนของคลื่นเสียงมีค่าค่อนข้างน้อย แต่ถ้าหากมีการใช้คลื่นเสียงที่ส่งผ่านเข้าไปในชิ้นงานของแท่งมาตรฐานสอบเทียบต่างประเทศที่มีความถี่สูงส่งผลทำให้การลดทอนของคลื่นเสียงเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบการทดสอบกันแล้วระหว่างแท่งมาตรฐานต้นแบบที่ผลิตขึ้นเองกับแท่งสอบเทียบมาตรฐานนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งมีแนวโน้มของค่าการลดทอนของคลื่นเสียงใกล้เคียงกัน

2) การใช้คลื่นเสียงที่ส่งผ่านเข้าไปในชิ้นงานแท่งมาตรฐานต้นแบบที่ผลิตขึ้นเองกับแท่งมาตรฐานสอบเทียบต่างประเทศที่ความถี่ 5, 10 MHz มีค่าเปอร์เซ็นต์ของแอมพริจูดของการลดทอนของคลื่นเสียงใกล้เคียงกันมาก สรุปได้ว่าชิ้นงานแท่งมาตรฐานต้นแบบที่ผลิตขึ้นเองสามารถนำมาใช้เป็นแท่งสอบเทียบ (Calibration) กับเครื่องอัลตราโซนิคได้ ก่อนที่จะมีการตรวจสอบหรือวัดขนาดของวัสดุ และสามารถทดแทนการนำเข้าของแท่งสอบเทียบต่างประเทศได้อีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้สามารถนำแท่งมาตรฐานต้นแบบที่ผลิตขึ้นเอง สามารถนำไปใช้การฝึกอบรมการตรวจสอบด้วยคลื่นเสียงอัลตราโซนิคให้กับนักเรียนนักศึกษา และบุคลากรที่ให้ความสนใจในด้านการตรวจสอบด้วยคลื่นเสียงอัลตราโซนิค และในอนาคตสามารถผลิตขึ้นใช้เองภายในประเทศเพื่อลดการนำเข้าจากต่างประเทศได้อีกด้วย

บรรณานุกรม

[1] ฟูจิอิ ซาโตะ, การทดสอบแบบไม่ทำลาย. กทม: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), 2541.

[2] รศ.อาษา ประทีปเสน, การทดสอบโดยไม่ทำลายในงานเชื่อมและการวิจัย: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.

[3] ธีรพงศ์ นิรัตติวงศกรณ์ และคณะ, "การตรวจสอบแนวเชื่อมท่อบรรจุดินขับโดยคลื่นเสียงความถี่สูง," in การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ, ชะอำ เพชรบุรี, 2555, pp. 1127-1136.

[4] ธารทิพย์ ฉายศิริวัฒนา บวรโชค ผู้พัฒน์, "การพัฒนาวิธีการตรวจสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงสำหรับวัสดุเติมป้องกันการกัดกร่อนบริเวณหน้าแปลนข้อต่อ," วิศวกรรมศาสตร์, วศ.ม. วิศวกรรมอุตสาหการ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กทม, 2558.

[5] บุญเหลือ ขวัญศรี อาษา ประทีปเสน, "ผลกระทบของขนาดเกรนและแนวรีดต่อความเร็วและการลดทอนของคลื่นเสียงความถี่สูง," วิศวกรรมศาสตร์, วศ.ม. วิศวกรรมอุตสาหการ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กทม, 2555.

[6] ใหม่ น้อยพิทักษ์ สิทธิศักดิ์ จารุเนตรรัศมี, "ความสามารถของคลื่นเสียงความถี่สูงในการตรวจสอบรอยเชื่อมโลหะต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าไร้สนิม," วศ.ม. วิศวกรรมอุตสาหการ, วศ.ม. วิศวกรรมอุตสาหการ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กทม, 2558.

[7] นครินทร์ โพธิดอกไม้ อาษา ประทีปเสน, "การสร้างชิ้นทดสอบฝึกหัดการหลอมละลายด้านข้างไม่สมบูรณ์ในงานเชื่อมสำหรับการทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง," วศ.ม. วิศวกรรมอุตสาหการ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กทม, 2553.

[8] ธีรพงศ์ นิรัตติวงศกรณ์ น.ท. สิทธา สายดาราสมุทร ร.น. ธีรทัศน์ พรยั่งยืน, "การตรวจสอบแนวเชื่อมท่อบรรจุดินขับโดยคลื่นเสียงความถี่สูง," ส. (องค์การมหาชน)กระทรวงกลาโหม, Ed., ed. นนทบุรี, 2555.

[9] ดิเรก หาญณรงค์ อาษา ประทีปเสน, "ผลกระทบของการพ่นพอกอลูมิเนียมด้วยความร้อนต่อการทดสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง," วศ.ม., ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กทม, 2555.

[10] D. Dobrotă, "Vulcanization of Rubber Conveyor Belts with Metallic Insertion Using Ultrasounds," *Procedia Engineering,* vol. 100, pp. 1160-1166, 2015/01/01/ 2015.

[11] E. Pan, J. Rogers, S. K. Datta, and A. H. Shah, "Mode selection of guided waves for ultrasonic inspection of gas pipelines with thick coating," *Mechanics of Materials,* vol. 31, pp. 165-174, 1999/03/01/ 1999.

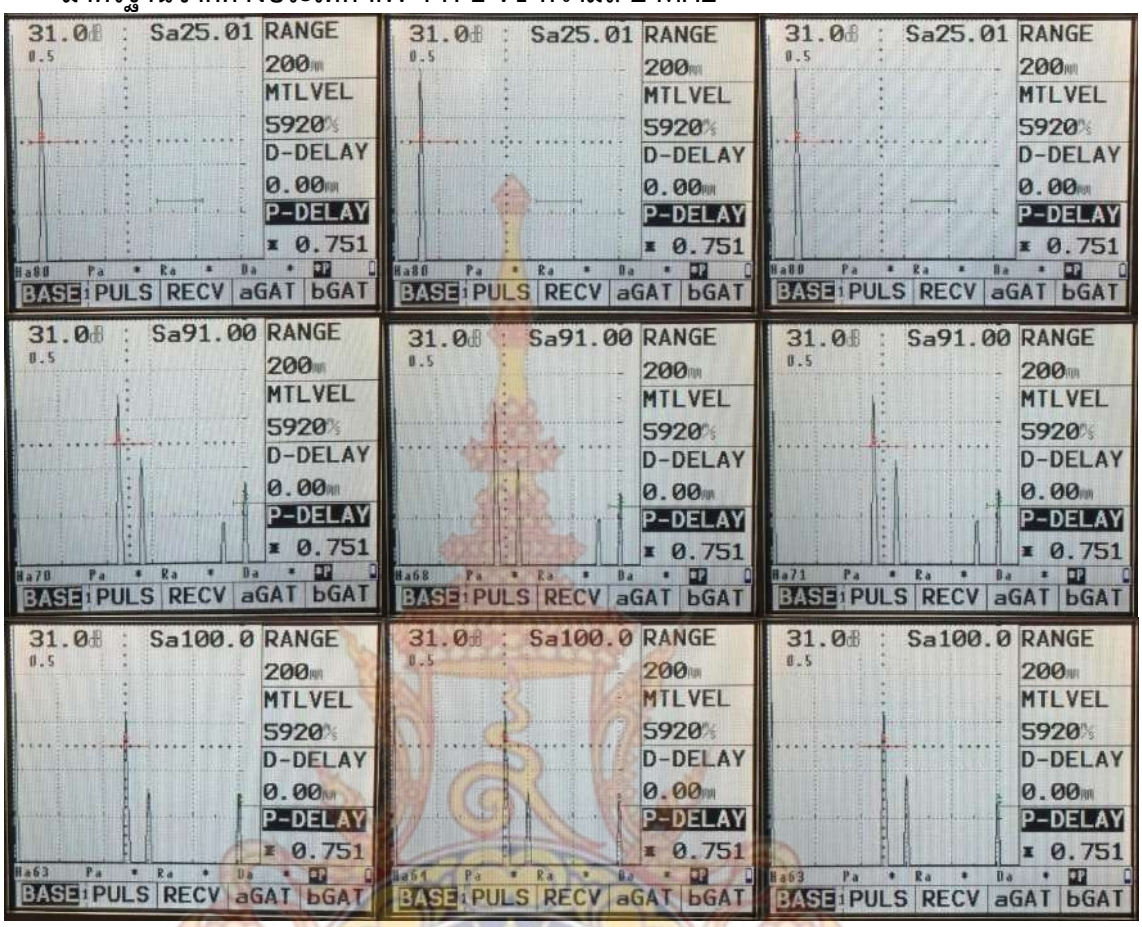
[12] Junho Song and D. E. Chiment, "Design, Fabrication and Characterization of a Spherically Focused Capacitive Air-Coupled Ultrasonic Transducer," *International Journal of Applied Science and Engineering,* vol. 4, pp. 1-19, 2006.

[13] M. Arone, D. Cerniglia, and V. Nigrelli, "Defect characterization in Al welded joints by non-contact Lamb wave technique," *Journal of Materials Processing Technology,* vol. 176, pp. 95-101, 2006/06/06/ 2006.



ภาคผนวก ก.
ผลการทดสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงแท่งสอบเทียบมาตรฐานจากต่างประเทศ
IIW TYPE V1

ก.1 กราฟหน้าจอของเครื่องตรวจสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงจากการทดสอบแท่งสอบเทียบมาตรฐานจากต่างประเทศ IIW TYPE V1 ความถี่ 2 MHz



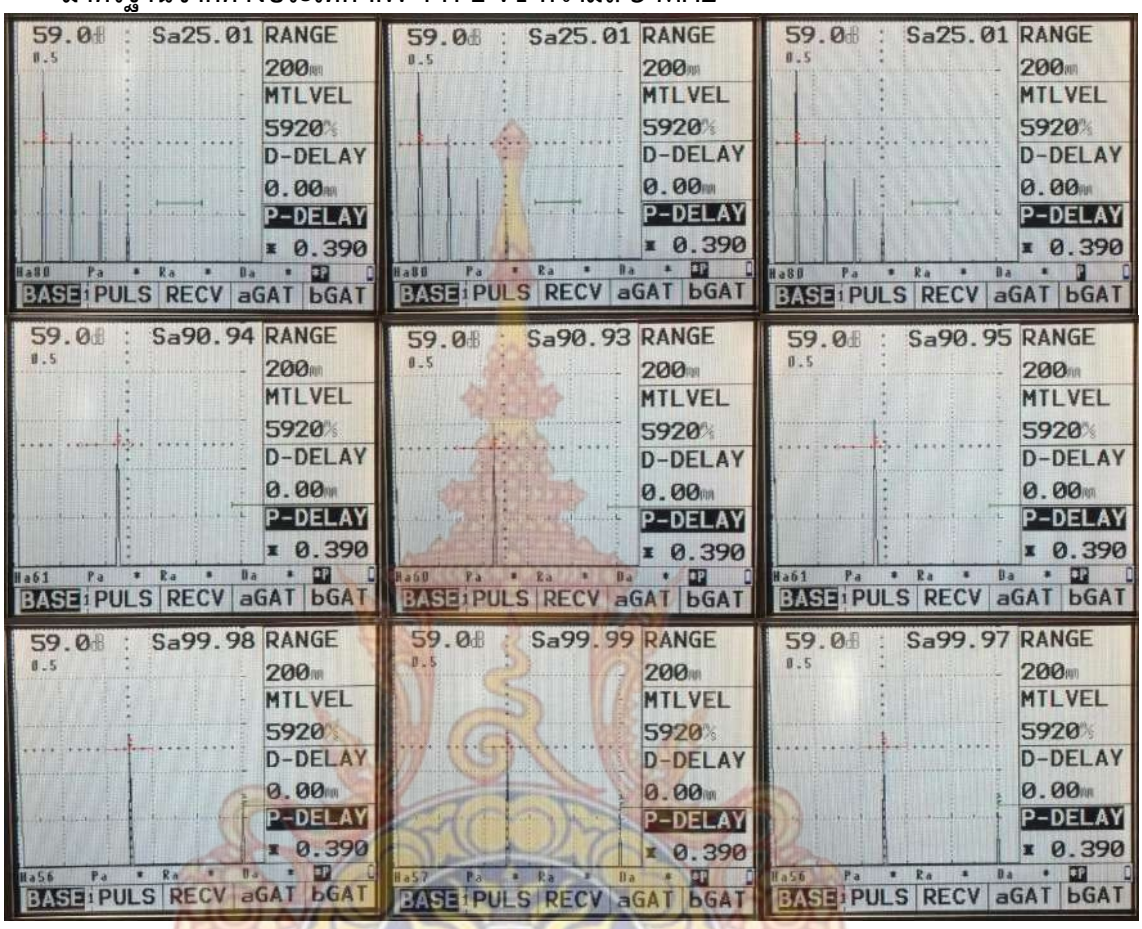
ก.2 ตารางบันทึกผลความถี่ 2 MHz แท่งสอบเทียบมาตรฐานจากต่างประเทศ IIW TYPE V1

ความถี่ 2 MHz

Gain = 31.0 dB Probe Delay = 0.751 µs

ความสูง	25 mm	%A	91 mm	%A	100 mm	%A
ครั้งที่ 1	25.01	80	91	70	100	63
ครั้งที่ 2	25.01	80	91	68	100	64
ครั้งที่ 3	25.01	80	91	71	100	63
ค่าเฉลี่ย	25.01	80	91	69.67	100	63.33

ก.3 กราฟหน้าจอของเครื่องตรวจสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงจากการทดสอบแท่งสอบเทียบมาตรฐานจากต่างประเทศ IIW TYPE V1 ความถี่ 5 MHz



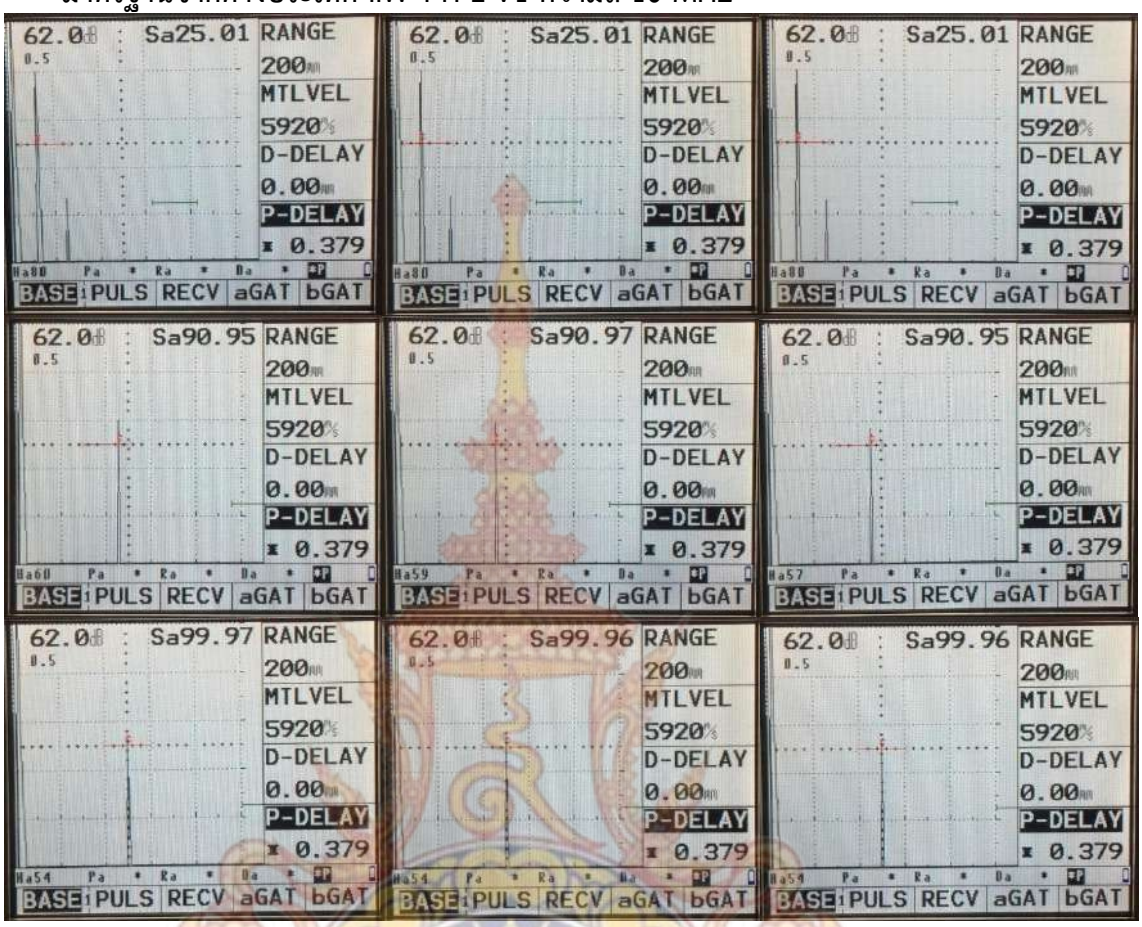
ก.4 ตารางบันทึกผลความถี่ 5 MHz แท่งสอบเทียบมาตรฐานจากต่างประเทศ IIW TYPE V1

ความถี่ 5 MHz

Gain = 59 dB Probe Delay = 0.39 µs

ความสูง	25 mm	%A	91 mm	%A	100 mm	%A
ครั้งที่ 1	25.01	80	90.94	61	99.98	56
ครั้งที่ 2	25.01	80	90.93	60	99.99	57
ครั้งที่ 3	25.01	80	90.95	61	99.97	56
ค่าเฉลี่ย	25.01	80	90.94	60.67	99.98	56.33

ก.5 กราฟหน้าจอของเครื่องตรวจสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงจากการทดสอบแท่งสอบเทียบมาตรฐานจากต่างประเทศ IIW TYPE V1 ความถี่ 10 MHz



ก.4 ตารางบันทึกผลความถี่ 10 MHz แท่งสอบเทียบมาตรฐานจากต่างประเทศ IIW TYPE V1

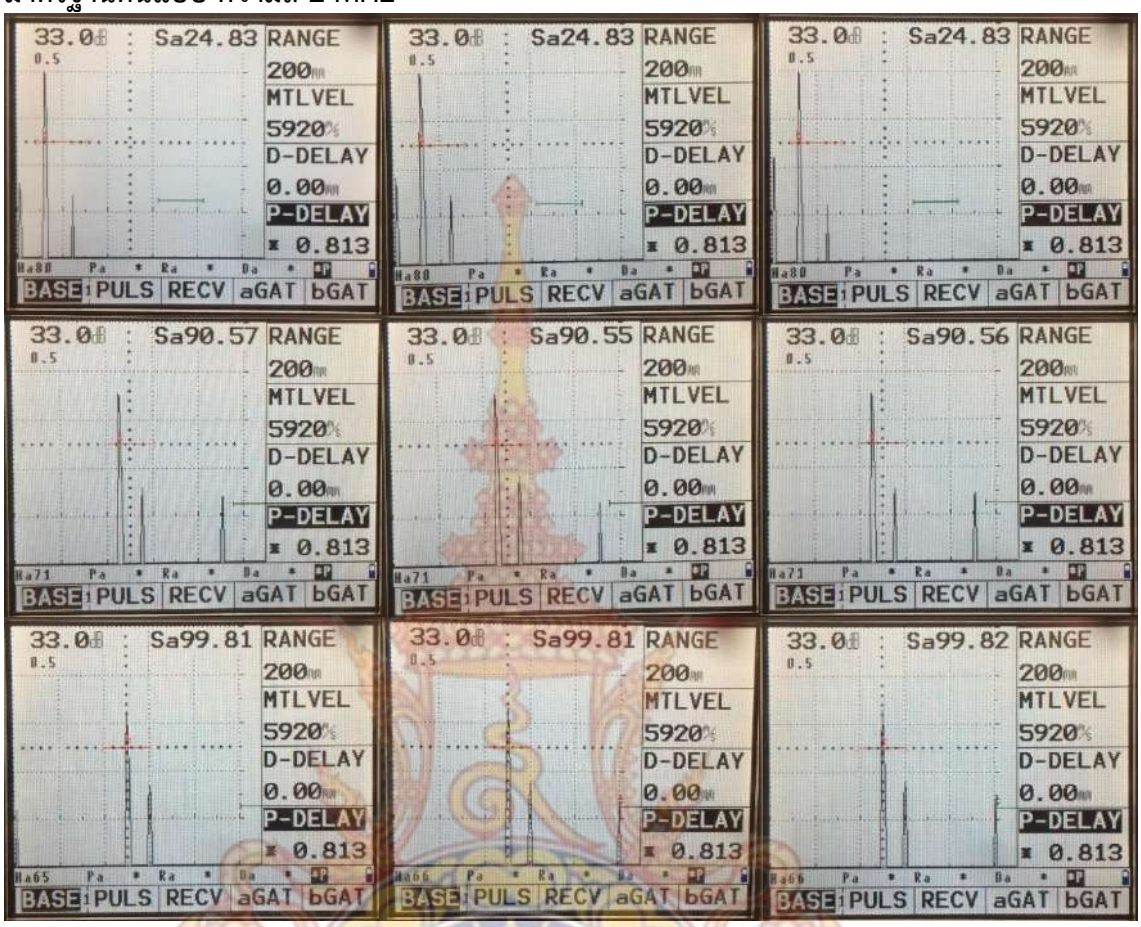
ความถี่ 10 MHz

Gain = 62 dB Probe Delay = 0.379 µs

ความสูง	25 mm	%A	91 mm	%A	100 mm	%A
ครั้งที่ 1	25.01	80	90.95	60	99.97	54
ครั้งที่ 2	25.01	80	90.97	59	99.96	54
ครั้งที่ 3	25.01	80	90.95	57	99.96	54
ค่าเฉลี่ย	25.01	80	90.96	58.67	99.96	54

ภาคผนวก ข.
ผลการทดสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบที่ผลิตขึ้นเอง

ข.1 กราฟหน้าจอของเครื่องตรวจสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงจากการทดสอบแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ ความถี่ 2 MHz



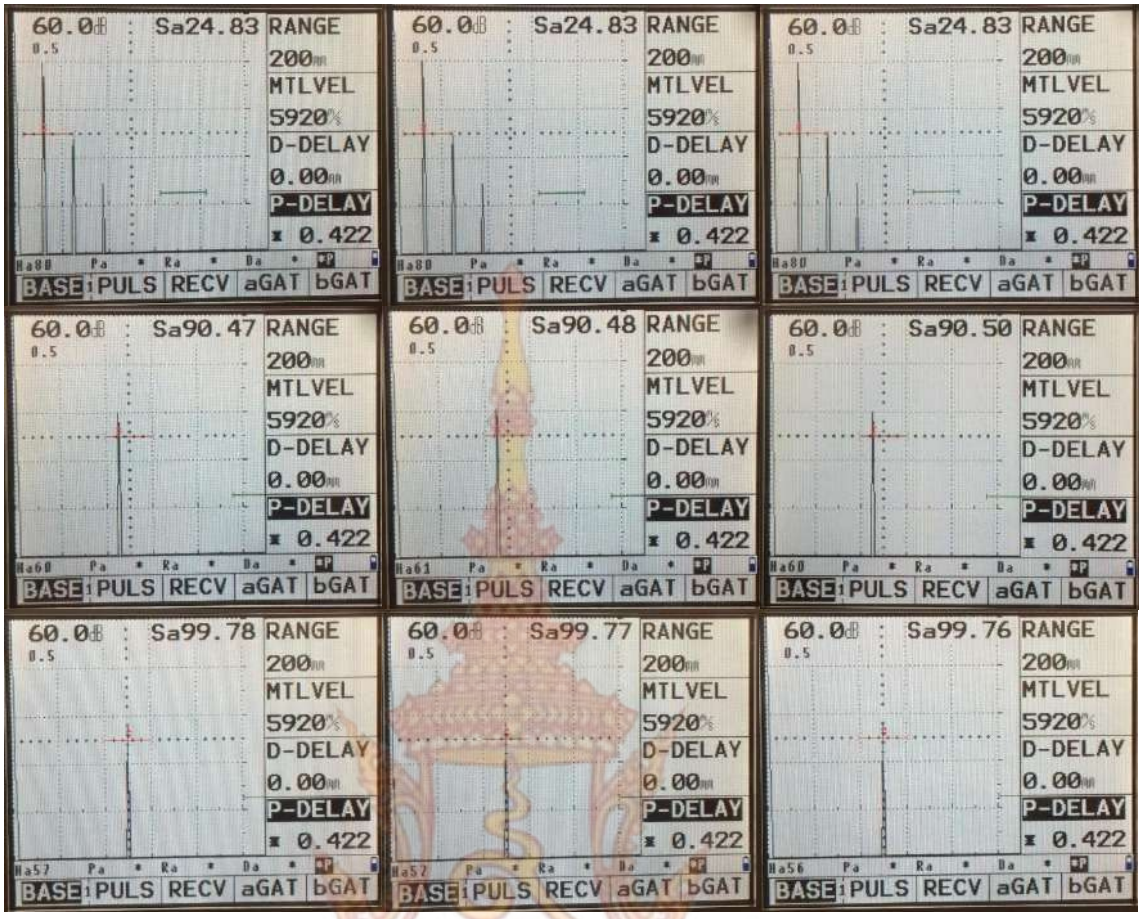
ข.2 ตารางบันทึกผลความถี่ 2 MHz แท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ

ความถี่ 2 MHz

Gain = 33.0 dB Probe Delay = 0.813 µs

ความสูง	25 mm	%A	91 mm	%A	100 mm	%A
ครั้งที่ 1	24.83	80	90.57	71	99.81	65
ครั้งที่ 2	24.83	80	90.55	71	99.81	66
ครั้งที่ 3	24.83	80	90.56	71	99.82	66
ค่าเฉลี่ย	24.83	80	90.56	71	99.81	65.67

ข.3 กราฟหน้าจอของเครื่องตรวจสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงจากการทดสอบแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ ความถี่ 5 MHz



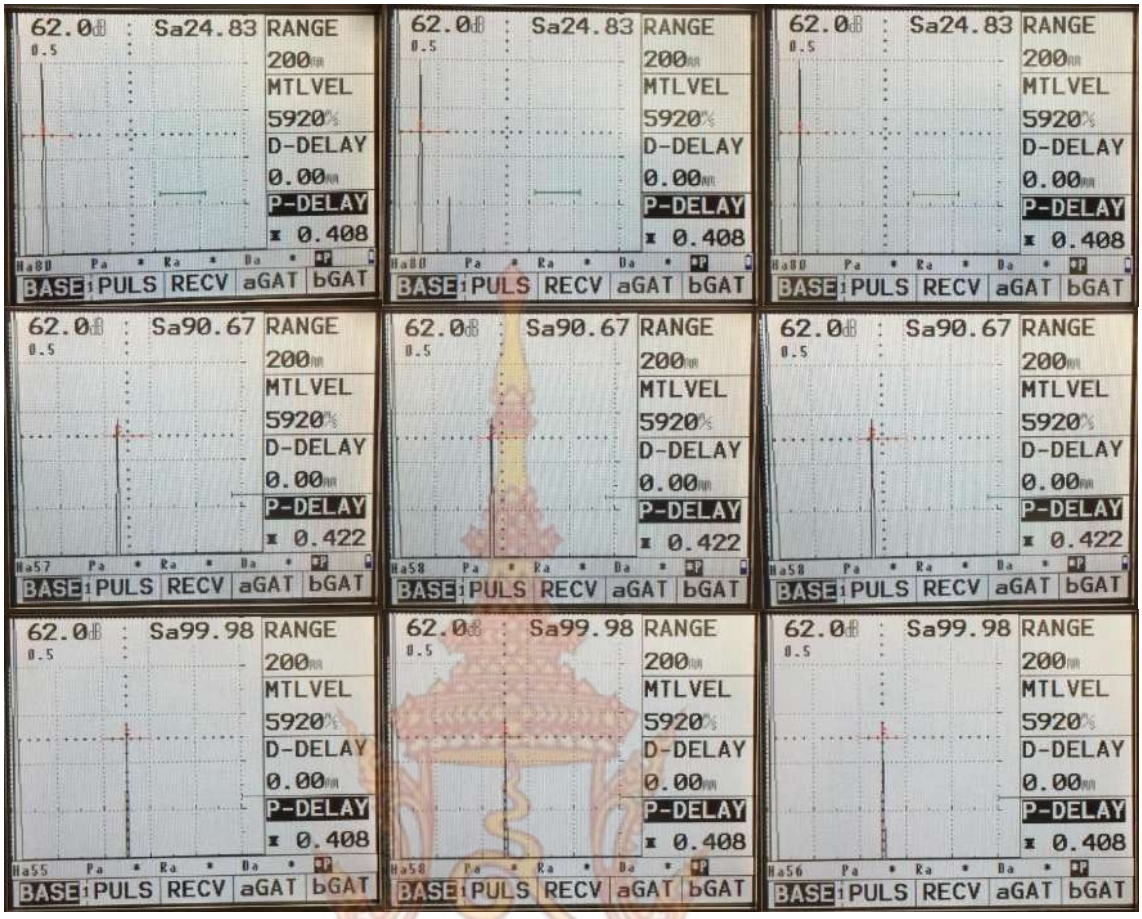
ข.4 ตารางบันทึกผลความถี่ 5 MHz แท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ

ความถี่ 5 MHz

Gain = 60.0 dB Probe Delay = 0.422 µs

ความสูง	25 mm	%A	91 mm	%A	100 mm	%A
ครั้งที่ 1	24.83	80	90.47	60	99.78	57
ครั้งที่ 2	24.83	80	90.48	61	99.77	57
ครั้งที่ 3	24.83	80	90.5	60	99.76	56
ค่าเฉลี่ย	24.83	80	90.48	60.33	99.77	56.67

ข.5 กราฟหน้าจอของเครื่องตรวจสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงจากการทดสอบแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ ความถี่ 10 MHz



ข.6 ตารางบันทึกผลความถี่ 10 MHz แท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ

ความถี่ 10 MHz

Gain = 62.0 dB Probe Delay = 0.408 µs

ความสูง	25 mm	%A	91 mm	%A	100 mm	%A
ครั้งที่ 1	24.83	80	90.67	57	99.98	55
ครั้งที่ 2	24.83	80	90.67	58	99.98	58
ครั้งที่ 3	24.83	80	90.67	58	99.98	56
ค่าเฉลี่ย	24.83	80	90.67	57.67	99.98	56.33

ภาคผนวก ค
มาตรฐาน ASTM E164

ค.1 มาตรฐาน ASTM E164

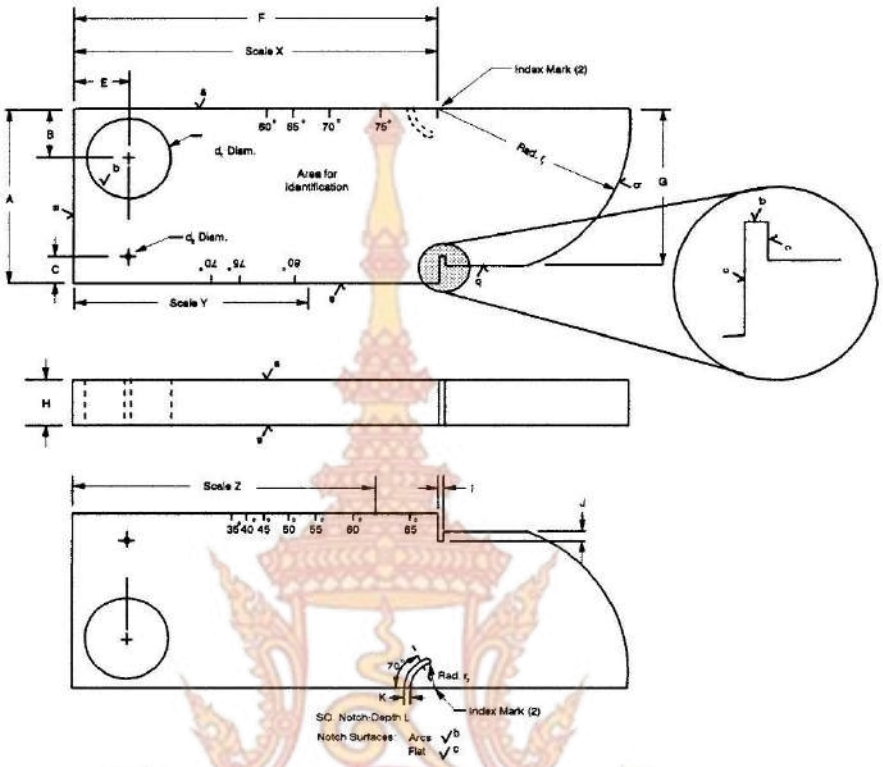


Table of Dimensions

Symbol	U.S. Customary Block		Metric Block	
	Dimension (in.)	Tolerance (in.)	Dimension (mm)	Tolerance (mm)
A	4.000	0.005	100	0.1
B	1.200	0.005	30	0.1
C	0.600	0.005	15	0.1
d_1	2.000	0.01	50	0.2
d_2	0.060	0.001	1.5	0.02
E	1.400	0.005	35	0.1
F	8.000	0.005	200	0.1
G	3.640	0.005	91	0.1
H	1.000	0.005	25	0.1
I	0.080	0.005	2	0.1
J	0.240	0.005	6	0.1
K	0.120	0.005	3	0.1
L	0.060	0.005	1.5	0.1
r_1	4.000	0.01	100	0.2
r_2	1.000	0.01	25	0.2
Surfaces/finish R_a	a		32 μin. max	0.8 μm max
	b		63 μin. max	1.6 μm max
	c		125 μin. max	3.2 μm max
		Scales		
X	1.200 tanα + 1.400	0.005	30 tanα + 35	0.1
Y	0.600 tanβ + 1.400	0.005	15 tanβ + 35	0.1
Z	2.800 tanγ + 1.400	0.005	70 tanγ + 35	0.1

NOTE 1—Material as specified. Note 2—Scale X is 60°–75°, 1° increments, legends at 60°, 65°, 70°, & 75°.
Note 3—Scale Y is 70°–80°, 1° increments, legends at 70°, 75°, & 80°.
Note 4—Scale Z is 35°–65°, 1° increments, legends at 35°, 40°, 45°, 50°, 55°, 60° & 65°.
Note 5—In order to avoid sharp edges, minimize plating buildup, or remove in-service nicks and burrs, block edges may be smoothed by beveling or rounding, provided the corner treatment does not reduce the edge dimension by more than 0.020 in. [0.5 mm].
Note 6—English and metric units shown on this figure represent values used for two different blocks, that is, U.S. Customary Block and a Metric Block, and are not necessarily equivalent values.

FIG. A1.1 Reference Blocks for Ultrasonic Testing