



รายงานการวิจัย

โครงการวิจัยเรื่อง

วิศวกรรมย้อนรอยกรรมวิธีผลิตความแม่นยำสูงสำหรับแท่งมาตรฐาน
สอบเทียบในการตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูง

Highly precision-reverse engineering for a fabrication of
standard and calibration blocks in ultrasonic testing
components

โดย

นายฤทธิชัย

ภาเนียม

นายธีรยุทธ

กาญจนแสงทอง

นายใหม่

น้อยพิทักษ์

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบประมาณแผ่นดินประจำปี 2562

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ผู้วิจัย : นายฤทธิชัย เกาเนียม
นายธีรยุทธ กาญจนแสงทอง
นายใหม่ น้อยพิทักษ์
ชื่องานวิจัย : วิศวกรรมย้อนรอยกรรมวิธีผลิตความแม่นยำสูงสำหรับแท่งมาตรฐานสอบเทียบใน
การตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูง
หน่วยงาน : สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันนี้การบินและโลจิสติกส์เป็น 1 ใน 5 อุตสาหกรรมที่สำคัญในกลุ่มเป้าหมายใหม่ซึ่งไทยมุ่งมั่นเป็นศูนย์กลางด้านอากาศยานและโลจิสติกส์ในภูมิภาคอาเซียนนี้ โดยในด้านการซ่อมบำรุงการบินและอากาศยานถือว่าเป็นองค์ประกอบสำคัญที่จะรองรับการพัฒนาได้อย่างไร้ที่ติ นอกจากการผลิตบุคลากรด้านซ่อมบำรุงอากาศยานแล้ว แนวทางด้านการศึกษาพัฒนาเทคโนโลยีอุปกรณ์พื้นฐานใช้เองภายในประเทศเป็นสิ่งที่ควรคำนึงถึงอย่างยิ่ง โดยเฉพาะงานด้านการทดสอบโดยไม่ทำลาย (Nondestructive testing, NDT) ซึ่งเป็นส่วนจำเป็นยิ่งในด้านซ่อมบำรุงอากาศยาน

ดังนั้นคณะผู้วิจัยด้านการทดสอบโดยไม่ทำลายในอากาศยาน จึงได้มีแนวคิดดำเนินการวิจัยในการพัฒนาเทคโนโลยีการทดสอบโดยไม่ทำลายในอากาศยาน โดยเริ่มจากวิศวกรรมย้อนรอยแท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIW V-1 ตามมาตรฐาน ASTM 164 จากต่างประเทศ ทำการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี โครงสร้างทางโลหะวิทยา การผลิตขึ้นรูปร่วมกับถ่ายภาพความร้อน และการเปรียบเทียบ 3D Scan ระหว่างแท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIW TYPE V1 กับชิ้นงานต้นแบบเพื่อดูความแตกต่างของขนาดและรูปร่างของมิติต่างๆ ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

จากผลการทดลองการวิศวกรรมย้อนรอยทางด้านโครงสร้างทางโลหะวิทยาและวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของแท่งมาตรฐาน IIW type V-1 พบว่า มีโครงสร้างทางจุลภาคและส่วนผสมทางเคมีมีความใกล้เคียงกันอย่างชัดเจนกับวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 ที่ผลิตเป็นแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิความร้อนจะมีค่าสูงอยู่ที่บริเวณกึ่งกลางของดอกกัดและที่พิเศษของคมตัดเฉือนกระจายออกจะมีอุณหภูมิค่อนข้างต่ำ สำหรับการตรวจสอบด้านมิติและขนาดด้วยวิธี 3D Scan และตรวจสอบความเรียบผิวของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต่างประเทศกับแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ ซึ่งผลในด้านมิติและขนาด มีความใกล้เคียงกันตามมาตรฐาน ASTM E164

คำสำคัญ : การผลิตความแม่นยำสูง แท่งสอบเทียบมาตรฐาน การตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูง

Name : Mr.Rittichai Phaoniam
Mr.Teerayut Karnchanaseangthong
Mr.Mai Noipitak

Research : Effect of microstructure of materials on the wave properties in
Title standard calibration blocks for ultrasonic test on aerospace components

Organization : Department of Industrial Engineering Faculty of Engineering
Rajamangala University of Technology Krungthep

Abstract

Nowdays, 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. Begin with investigating an import product of IIW V-1 calibration block as ASTM 164 by reverse engineering; namely, chemical compositions, microstructure machine process, thermal image and 3D-Scan to compare an other appearance between IIW V-1 calibration with block standard calibration blocks. The experimental results can be summarized as follows.

From the results showed that reverse engineering of metallurgical structure and chemical composition analysis of the IIW type V-I standard block revealed the existing of microstructures and chemical compositions. It is very similar to the SS400 grade carbon steel material produced as a prototype standard calibration block. However, the heating temperature is high in the center of the end mill and with the edge distribution, the temperature is relatively low. While the dimensional checking is done by 3D scan and surface roughness check. Of IIW V-1 calibration block with master standard calibration block which results in dimensions and dimensions are similar to ASTM E164.

Keywords: high precision manufacturing, standard calibration block, Ultrasonic testing

กิตติกรรมประกาศ

ในการทางานวิจัยเรื่อง วิศวกรรมย้อนรอยกรรมวิธีผลิตความแม่นยำสูงสำหรับแท่งมาตรฐาน
สอบเทียบในการตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูง นี้ สามารถดำเนินการจนสำเร็จได้ด้วยดี ดังนั้น
คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย
แผ่นดินประจำปี 2562 ทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สามารถดำเนินการ และบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

ขอขอบพระคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
ราชมงคลกรุงเทพที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ในการทดลอง ทำให้การทดลองสามารถ
ดำเนิน การไปได้อย่างราบรื่น

สุดท้าย คณะผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครูบาอาจารย์ ที่อบรมสั่งสอน จน
ทำให้คณะผู้วิจัยมีโอกาสในการทำวิจัยนี้ นอกจากนี้ขอกราบขอบพระคุณทุกๆ ท่านที่มีความเกี่ยว
ข้องกับงานวิจัยชิ้นนี้ ซึ่งคณะผู้วิจัยไม่ได้เอ่ยนามถึง ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยขอ
มอบแต่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี



ฤทธิชัย เกาเนียม
ธีรยุทธ กาญจนแสงทอง
ใหม่ น้อยพิทักษ์

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 ทฤษฎีของกระบวนการกัดโลหะ	4
2.2 ทฤษฎีอัลตราโซนิก	5
2.3 การตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic test)	10
2.4 การสอบเทียบด้วยแท่งมาตรฐานสำหรับปรับเครื่องอัลตราโซนิก (Calibration and Reference Test Blocks)	10
2.5 การแปรรูปด้วยกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้า (EDM: Electrical Discharge Machining)	11
2.6 วัสดุอิเล็กโทรด (Electrode Materials)	15
2.7 วิศวกรรมย้อนรอย (Reverse Engineering)	15
2.8 อินฟราเรดเทอร์โมมิเตอร์และกล้องถ่ายภาพความร้อน	21
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานทดลองงานวิจัย	26
3.1 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ในการวิจัย	27
3.2 ขั้นตอนการออกแบบแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ	29
3.3 ขั้นตอนการผลิตแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ	30
3.4 ขั้นตอนการวัดความละเอียดสูงแบบ 3D Scanning surface	32
3.5 ขั้นตอนการสแกนภาพ 3 มิติ	33
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	34
4.1 ผลการตรวจสอบวิศวกรรมย้อนรอยของแท่งมาตรฐานสอบเทียบต้นแบบ	34
4.2 อิทธิพลของตัวแปรในการผลิตขึ้นรูปผลิตแท่งมาตรฐานสอบเทียบ	35
4.3 ผลการเปรียบเทียบ 3D Scan ระหว่างแท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIW TYPE V1 กับชิ้นงานต้นแบบ	37
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	45
5.1 สรุปผลการทดลอง	45

บรรณานุกรม	46
ภาคผนวก ก	48
ภาคผนวก ข	51
ภาคผนวก ค	57



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ความเร็วคลื่นเสียงตามยาวและคลื่นเสียงตามขวาง	7
3.1	ส่วนผสมทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนัก %)	27
4.1	การวิศวกรรมย้อนรอยวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนัก %)	35
4.2	ค่าความเรียบผิวของแท่งสอบเทียบมาตรฐานจากต่างประเทศ	37
4.3	ค่าความเรียบผิวของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ	37

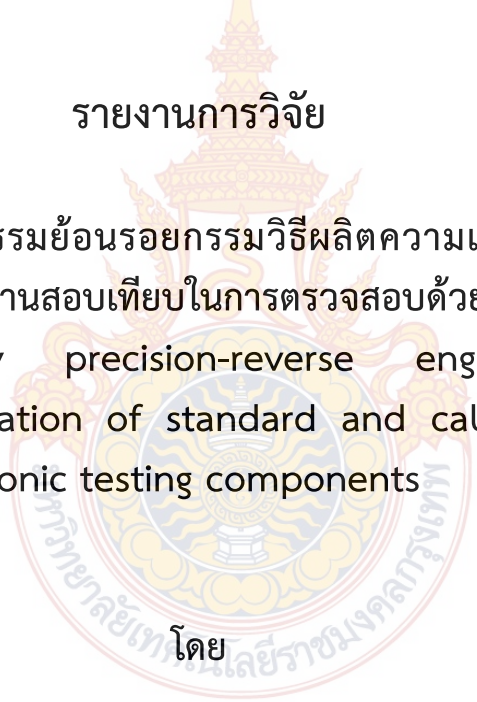


สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	The three most common types of machining process: (a) turning, (b) drilling, and two forms of milling: (c) peripheral milling, and (d) face milling	4
2.2	(a) A cross-sectional view of the machining process, (b) Tool with negative rake angle; compare with positive rake angle in (a)	5
2.3	(a) A single-point tool, showing rake face, flank and tool point, and (b) a helical milling cutter, representative of tools with multiple cutting edges	5
2.4	ลักษณะคลื่นเสียงตามยาว	6
2.5	ลักษณะคลื่นเสียงตามขวาง	6
2.6	แท่งสอบเทียบมาตรฐาน V1	8
2.7	แท่งสอบเทียบมาตรฐาน V2	8
2.8	หลักการทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง	10
2.9	Calibration and Reference Test Blocks	11
2.10	กระบวนการกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้า	12
2.11	สภาวะเริ่มต้นของการสปาร์กในการกัดอาร์กด้วยไฟฟ้า	12
2.12	สภาวะการสปาร์กในการกัดอาร์กด้วยไฟฟ้า	12
2.13	สภาวะการขจัดเศษและระบายความร้อนในการกัดอาร์กด้วยไฟฟ้า	13
2.14	ช่วงระยะเวลาเปิด และปิดเพื่อให้เกิดการถ่ายเทประจุ	14
2.15	ลักษณะรูปทรงของอิเล็กโทรดทองแดง	15
2.16	หลักการกฎสามเหลี่ยมและลักษณะของสัญญาณ Fringe pattern ขณะทำการวัด	18
2.17	ตัวอย่างจุดอ้างอิง (Un-Code Reference point) ที่ใช้ตัดผิวชิ้นงาน	18
2.18	การรับค่าพลังงานของเซนเซอร์อินฟราเรด	19
2.19	ไพโรมิเตอร์ชนิดอินฟราเรด	20
2.20	กล้องถ่ายภาพความร้อน	21
2.21	พื้นที่การวัดหรือขอบเขตการวัดเทอร์โมมิเตอร์ชนิดอินฟราเรด	22
2.22	ขอบเขตการมองเห็นของกล้อง TI: FOV และIFOV	23
2.23	Measuring process of roundness deviation for partial artefact part performed on MK 300 roundness tester, a) view of measuring the roundness deviation of a cone, b) detailed view of measuring the roundness deviation of a cone, c) detailed view of measuring a sphere	23
3.1	ขั้นตอนแนวคิดของโครงการวิจัย	27

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.2 ขั้นตอนการทดสอบด้วยเทคนิค Replication	29
3.3 การวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุด้วยวิธีการ X-Ray Fluorescence (XRF)	30
3.4 ขนาดของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ	30
3.5 ภาพ 3D model แท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ	31
3.6 ขั้นตอนกระบวนการผลิตแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ	32
3.7 การใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนเพื่อศึกษาอุณหภูมิการขึ้นรูปแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ	33
3.8 เครื่องวัดความละเอียดสูงแบบ 3D Measuring Laser Microscope	34
3.9 ขั้นตอนการการสแกนภาพ 3 มิติ	34
4.1 การเปรียบเทียบโครงสร้างทางจุลภาคของแท่งมาตรฐาน IIW type V-I กับแท่งมาตรฐานสอบเทียบต้นแบบ	35
4.2 ภาพถ่ายความร้อนในการขึ้นรูปแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ	37
4.3 เศษคมตัดเฉือนของวัสดุ SS400 แท่งมาตรฐานสอบเทียบต้นแบบ	38
4.4 ความเรียบผิวแท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIW type V-I ที่นำเข้าจากต่างประเทศ	39
4.5 ความเรียบผิวแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ	40
4.6 กราฟผลการเปรียบเทียบมิติรูปร่าง และความสมมาตร	41
4.7 การเปรียบเทียบขนาดด้านหน้าระหว่างแท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIW TYPE V1 กับชิ้นงานต้นแบบ	42
4.8 การเปรียบเทียบขนาดด้านหลังระหว่างแท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIW TYPE V1 กับชิ้นงานต้นแบบ	43
4.9 การเปรียบเทียบขนาดด้านล่างระหว่างแท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIW TYPE V1 กับชิ้นงานต้นแบบ	44



ข้อร่อยกรรรมวิธีพ
อบเทียบในการตรว
precision-revers
n of standard
c testing compo

โดย

precision-reverse eng
ation of standard and cal
onic testing components

โดย

precision-reverse eng
ation of standard and cal
onic testing components

โดย

น้อยพิทักษ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

วิศวกรรมย้อนรอยกรรมวิธีผลิตความแม่นยำสูงสำหรับแท่งมาตรฐานสอบเทียบในการตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูง

งบประมาณแผ่นดินประจำปี 2562





รายงานการวิจัย

โครงการวิจัยเรื่อง

วิศวกรรมย้อนรอยกรรมวิธีผลิตความแม่นยำสูงสำหรับแท่งมาตรฐาน
สอบเทียบในการตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูง

Highly precision-reverse engineering for a fabrication of
standard and calibration blocks in ultrasonic testing
components

โดย

นายฤทธิชัย

ภาเนียม

นายธีรยุทธ

กาญจนแสงทอง

นายใหม่

น้อยพิทักษ์

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบประมาณแผ่นดินประจำปี 2562

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ผู้วิจัย : นายฤทธิชัย เกาเนียม
นายธีรยุทธ กาญจนแสงทอง
นายใหม่ น้อยพิทักษ์
ชื่องานวิจัย : วิศวกรรมย้อนรอยกรรมวิธีผลิตความแม่นยำสูงสำหรับแท่งมาตรฐานสอบเทียบใน
การตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูง
หน่วยงาน : สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันนี้การบินและโลจิสติกส์เป็น 1 ใน 5 อุตสาหกรรมที่สำคัญในกลุ่มเป้าหมายใหม่ซึ่งไทยมุ่งมั่นเป็นศูนย์กลางด้านอากาศยานและโลจิสติกส์ในภูมิภาคอาเซียนนี้ โดยในส่วนของซ่อมบำรุงการบินและอากาศยานถือว่าเป็นองค์ประกอบสำคัญที่จะรองรับการพัฒนาได้อย่างไร้ที่ติ นอกจากการผลิตบุคลากรด้านซ่อมบำรุงอากาศยานแล้ว แนวทางด้านการศึกษาพัฒนาเทคโนโลยีอุปกรณ์พื้นฐานใช้เองภายในประเทศเป็นสิ่งที่ควรคำนึงถึงอย่างยิ่ง โดยเฉพาะงานด้านการทดสอบโดยไม่ทำลาย (Nondestructive testing, NDT) ซึ่งเป็นส่วนจำเป็นยิ่งในด้านซ่อมบำรุงอากาศยาน

ดังนั้นคณะผู้วิจัยด้านการทดสอบโดยไม่ทำลายในอากาศยาน จึงได้มีแนวคิดดำเนินการวิจัยในการพัฒนาเทคโนโลยีการทดสอบโดยไม่ทำลายในอากาศยาน โดยเริ่มจากวิศวกรรมย้อนรอยแท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIW V-1 ตามมาตรฐาน ASTM 164 จากต่างประเทศ ทำการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี โครงสร้างทางโลหะวิทยา การผลิตขึ้นรูปร่วมกับถ่ายภาพความร้อน และการเปรียบเทียบ 3D Scan ระหว่างแท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIW TYPE V1 กับชิ้นงานต้นแบบเพื่อดูความแตกต่างของขนาดและรูปร่างของมิติต่างๆ ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

จากผลการทดลองการวิศวกรรมย้อนรอยทางด้านโครงสร้างทางโลหะวิทยาและวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของแท่งมาตรฐาน IIW type V-1 พบว่า มีโครงสร้างทางจุลภาคและส่วนผสมทางเคมีมีความใกล้เคียงกันอย่างชัดเจนกับวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 ที่ผลิตเป็นแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิความร้อนจะมีค่าสูงอยู่ที่บริเวณกึ่งกลางของดอกกัดและที่พิเศษของคมตัดเฉือนกระจายออกจะมีอุณหภูมิค่อนข้างต่ำ สำหรับการตรวจสอบด้านมิติและขนาดด้วยวิธี 3D Scan และตรวจสอบความเรียบผิวของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต่างประเทศกับแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ ซึ่งผลในด้านมิติและขนาด มีความใกล้เคียงกันตามมาตรฐาน ASTM E164

คำสำคัญ : การผลิตความแม่นยำสูง แท่งสอบเทียบมาตรฐาน การตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูง

Name : Mr.Rittichai Phaoniam
Mr.Teerayut Karnchanaseangthong
Mr.Mai Noipitak

Research : Effect of microstructure of materials on the wave properties in
Title standard calibration blocks for ultrasonic test on aerospace components

Organization : Department of Industrial Engineering Faculty of Engineering
Rajamangala University of Technology Krungthep

Abstract

Nowdays, 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. Begin with investigating an import product of IIW V-1 calibration block as ASTM 164 by reverse engineering; namely, chemical compositions, microstructure machine process, thermal image and 3D-Scan to compare an other appearance between IIW V-1 calibration with block standard calibration blocks. The experimental results can be summarized as follows.

From the results showed that reverse engineering of metallurgical structure and chemical composition analysis of the IIW type V-I standard block revealed the existing of microstructures and chemical compositions. It is very similar to the SS400 grade carbon steel material produced as a prototype standard calibration block. However, the heating temperature is high in the center of the end mill and with the edge distribution, the temperature is relatively low. While the dimensional checking is done by 3D scan and surface roughness check. Of IIW V-1 calibration block with master standard calibration block which results in dimensions and dimensions are similar to ASTM E164.

Keywords: high precision manufacturing, standard calibration block, Ultrasonic testing

กิตติกรรมประกาศ

ในการทางานวิจัยเรื่อง วิศวกรรมย้อนรอยกรรมวิธีผลิตความแม่นยำสูงสำหรับแท่งมาตรฐาน สอบเทียบในการตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูง นี้ สามารถดำเนินการจนสำเร็จได้ด้วยดี ดังนั้น คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยงบประมาณประจำปี 2562 ทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สามารถดำเนินการ และบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

ขอขอบพระคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ในการทดลอง ทำให้การทดลองสามารถดำเนิน การไปได้อย่างราบรื่น

สุดท้าย คณะผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครูบาอาจารย์ ที่อบรมสั่งสอน จนทำให้คณะผู้วิจัยมีโอกาสในการทำวิจัยนี้ นอกจากนี้ขอกราบขอบพระคุณทุกๆ ท่านที่มีความเกี่ยวข้องกับการงานวิจัยชิ้นนี้ ซึ่งคณะผู้วิจัยไม่ได้เอ่ยนามถึง ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบแต่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี



ฤทธิชัย เกาเนียม
ธีรยุทธ กาญจนแสงทอง
ใหม่ น้อยพิทักษ์

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 ทฤษฎีของกระบวนการกัดโลหะ	4
2.2 ทฤษฎีอัลตราโซนิก	5
2.3 การตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic test)	10
2.4 การสอบเทียบด้วยแท่งมาตรฐานสำหรับปรับเครื่องอัลตราโซนิก (Calibration and Reference Test Blocks)	10
2.5 การแปรรูปด้วยกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้า (EDM: Electrical Discharge Machining)	11
2.6 วัสดุอิเล็กโทรด (Electrode Materials)	15
2.7 วิศวกรรมย้อนรอย (Reverse Engineering)	15
2.8 อินฟราเรดเทอร์โมมิเตอร์และกล้องถ่ายภาพความร้อน	21
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานทดลองงานวิจัย	26
3.1 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ในการวิจัย	27
3.2 ขั้นตอนการออกแบบแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ	29
3.3 ขั้นตอนการผลิตแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ	30
3.4 ขั้นตอนการวัดความละเอียดสูงแบบ 3D Scanning surface	32
3.5 ขั้นตอนการสแกนภาพ 3 มิติ	33
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	34
4.1 ผลการตรวจสอบวิศวกรรมย้อนรอยของแท่งมาตรฐานสอบเทียบต้นแบบ	34
4.2 อิทธิพลของตัวแปรในการผลิตขึ้นรูปผลิตแท่งมาตรฐานสอบเทียบ	35
4.3 ผลการเปรียบเทียบ 3D Scan ระหว่างแท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIW TYPE V1 กับชิ้นงานต้นแบบ	37
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	45
5.1 สรุปผลการทดลอง	45

บรรณานุกรม	46
ภาคผนวก ก	48
ภาคผนวก ข	51
ภาคผนวก ค	57



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ความเร็วคลื่นเสียงตามยาวและคลื่นเสียงตามขวาง	7
3.1	ส่วนผสมทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนัก %)	27
4.1	การวิศวกรรมย้อนรอยวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนัก %)	35
4.2	ค่าความเรียบผิวของแท่งสอบเทียบมาตรฐานจากต่างประเทศ	37
4.3	ค่าความเรียบผิวของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ	37



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	The three most common types of machining process: (a) turning, (b) drilling, and two forms of milling: (c) peripheral milling, and (d) face milling	4
2.2	(a) A cross-sectional view of the machining process, (b) Tool with negative rake angle; compare with positive rake angle in (a)	5
2.3	(a) A single-point tool, showing rake face, flank and tool point, and (b) a helical milling cutter, representative of tools with multiple cutting edges	5
2.4	ลักษณะคลื่นเสียงตามยาว	6
2.5	ลักษณะคลื่นเสียงตามขวาง	6
2.6	แท่งสอบเทียบมาตรฐาน V1	8
2.7	แท่งสอบเทียบมาตรฐาน V2	8
2.8	หลักการทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง	10
2.9	Calibration and Reference Test Blocks	11
2.10	กระบวนการกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้า	12
2.11	สภาวะเริ่มต้นของการสปาร์กในการกัดอาร์กด้วยไฟฟ้า	12
2.12	สภาวะการสปาร์กในการกัดอาร์กด้วยไฟฟ้า	12
2.13	สภาวะการขจัดเศษและระบายความร้อนในการกัดอาร์กด้วยไฟฟ้า	13
2.14	ช่วงระยะเวลาเปิด และปิดเพื่อให้เกิดการถ่ายเทประจุ	14
2.15	ลักษณะรูปทรงของอิเล็กโทรดทองแดง	15
2.16	หลักการกฎสามเหลี่ยมและลักษณะของสัญญาณ Fringe pattern ขณะทำการวัด	18
2.17	ตัวอย่างจุดอ้างอิง (Un-Code Reference point) ที่ใช้ตัดผิวชิ้นงาน	18
2.18	การรับค่าพลังงานของเซนเซอร์อินฟราเรด	19
2.19	ไพโรมิเตอร์ชนิดอินฟราเรด	20
2.20	กล้องถ่ายภาพความร้อน	21
2.21	พื้นที่การวัดหรือขอบเขตการวัดเทอร์โมมิเตอร์ชนิดอินฟราเรด	22
2.22	ขอบเขตการมองเห็นของกล้อง TI: FOV และIFOV	23
2.23	Measuring process of roundness deviation for partial artefact part performed on MK 300 roundness tester, a) view of measuring the roundness deviation of a cone, b) detailed view of measuring the roundness deviation of a cone, c) detailed view of measuring a sphere	23
3.1	ขั้นตอนแนวคิดของโครงการวิจัย	27

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.2 ขั้นตอนการทดสอบด้วยเทคนิค Replication	29
3.3 การวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุด้วยวิธีการ X-Ray Fluorescence (XRF)	30
3.4 ขนาดของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ	30
3.5 ภาพ 3D model แท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ	31
3.6 ขั้นตอนกระบวนการผลิตแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ	32
3.7 การใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนเพื่อศึกษาอุณหภูมิการขึ้นรูปแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ	33
3.8 เครื่องวัดความละเอียดสูงแบบ 3D Measuring Laser Microscope	34
3.9 ขั้นตอนการการสแกนภาพ 3 มิติ	34
4.1 การเปรียบเทียบโครงสร้างทางจุลภาคของแท่งมาตรฐาน IIW type V-I กับแท่งมาตรฐานสอบเทียบต้นแบบ	35
4.2 ภาพถ่ายความร้อนในการขึ้นรูปแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ	37
4.3 เศษคมตัดเฉือนของวัสดุ SS400 แท่งมาตรฐานสอบเทียบต้นแบบ	38
4.4 ความเรียบผิวแท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIW type V-I ที่นำเข้าจากต่างประเทศ	39
4.5 ความเรียบผิวแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ	40
4.6 กราฟผลการเปรียบเทียบมิติรูปร่าง และความสมมาตร	41
4.7 การเปรียบเทียบขนาดด้านหน้าระหว่างแท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIW TYPE V1 กับชิ้นงานต้นแบบ	42
4.8 การเปรียบเทียบขนาดด้านหลังระหว่างแท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIW TYPE V1 กับชิ้นงานต้นแบบ	43
4.9 การเปรียบเทียบขนาดด้านล่างระหว่างแท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIW TYPE V1 กับชิ้นงานต้นแบบ	44

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

จากนโยบายของรัฐบาลในการพัฒนาประเทศเข้าสู่ Thailand 4.0 โดยมุ่งเน้นผลักดันการปฏิรูปอุตสาหกรรมไทยเข้าสู่ยุค Industry 4.0 ซึ่งแนวคิดนี้เป็นการบูรณาการเทคโนโลยีดิจิทัลร่วมกับระบบการผลิตอัตโนมัติและระบบเครือข่ายสารสนเทศเพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิต บริการและความสามารถในการแข่งขันทางธุรกิจทั้งในและต่างประเทศ ปัจจุบันภาครัฐได้ประกาศนโยบายดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคมเพื่อรองรับการพัฒนาอุตสาหกรรมเป้าหมายใหม่ (New S-Curve) ขึ้น ซึ่งการบินและโลจิสติกส์เป็น 1 ใน 5 อุตสาหกรรมที่สำคัญในกลุ่มเป้าหมายใหม่นี้ ซึ่งไทยมุ่งมั่นเป็นศูนย์กลางด้านอากาศยานและโลจิสติกส์ในภูมิภาคอาเซียนนี้ โดยในส่วนนี้การซ่อมบำรุงการบินและอากาศยานถือว่าเป็นองค์ประกอบสำคัญที่จะรองรับการพัฒนาได้อย่างยิ่ง 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 ซึ่งชิ้นส่วนอุปกรณ์การตรวจสอบต่างๆต้องนำเข้าจากภายนอกประเทศเกือบทั้งหมด และบุคลากรภายในประเทศโดยมากเป็นเพียงผู้ใช้เท่านั้น

ดังนั้นคณะผู้วิจัยด้านการทดสอบโดยไม่ทำลายในอากาศยานจึงเล็งเห็นความสำคัญด้านความขาดแคลนบุคลากรและเทคโนโลยีภายในประเทศ จึงได้มีแนวคิดดำเนินการวิจัยร่วมเชิงบูรณาการในการพัฒนาเทคโนโลยีการทดสอบโดยไม่ทำลายในอากาศยาน เช่น การผลิตชิ้นส่วนมาตรฐานสอบเทียบในการตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูง ทดแทนการนำเข้า เป็นต้น โดยคณะผู้วิจัยประกอบด้วย

- โครงการศูนย์วิจัยร่วมการทดสอบโดยไม่ทำลายและประเมินวัสดุในงานอากาศยาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ (RMUTK)
- สถาบันการบินแห่งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
- ศูนย์วิศวกรรมการผลิตความแม่นยำสูง (High precision) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

- ห้องปฏิบัติการประเมินวัสดุผสม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร (RMUTP)
- หน่วยวิจัยวัสดุและการทดสอบโดยไม่ทำลาย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เขตการศึกษาราชบุรี (KMUTT)

โครงการศูนย์วิจัยร่วมการทดสอบโดยไม่ทำลายและประเมินวัสดุในงานอากาศยานนี้มีจุดมุ่งหมายเน้นการวิจัยเพื่อการผลิตชิ้นส่วนมาตรฐานสอบเทียบ (Standard and calibration blocks) ทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศสำหรับงานทดสอบโดยไม่ทำลายด้านอากาศยาน

ดังนั้นคณะผู้ดำเนินการวิจัยมีจุดมุ่งหมายเกี่ยวกับวิศวกรรมย้อนรอยกรรมวิธีผลิตความแม่นยำสูงสำหรับแท่งมาตรฐานสอบเทียบในการตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูง เพื่อการผลิตชิ้นส่วนมาตรฐานสอบเทียบ (Standard and calibration blocks) ทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศสำหรับงานทดสอบโดยไม่ทำลายด้านอากาศยาน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 ศึกษากรรมวิธีผลิตความแม่นยำสูงสำหรับแท่งมาตรฐานสอบเทียบต้นแบบในการตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูง

1.2.2 สามารถผลิตแท่งมาตรฐานสอบเทียบในการตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูงตามมาตรฐาน ASTM E164

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

โครงการวิจัยวิศวกรรมย้อนรอยกรรมวิธีผลิตความแม่นยำสูงสำหรับแท่งมาตรฐานสอบเทียบในการตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูงมีขอบเขตการศึกษาดังนี้

- 1.3.1 ชิ้นงานวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน
- 1.3.2 แท่งมาตรฐานสอบเทียบ ชนิด IIW type V-I calibration blocks
- 1.3.3 ทดสอบประสิทธิภาพเครื่องมือสอตก้องตามมาตรฐานการทดสอบโดยไม่ทำลาย ASTM E164
- 1.3.4 ทดสอบส่วนผสมทางเคมีและโครงสร้างเกรนวัสดุทดสอบ
- 1.3.5 ตรวจสอบมิติด้วย laser CMM scanning
- 1.3.6 การวัดพื้นผิวความละเอียดสูงแบบสามมิติ (3D Scanning Surface)
- 1.3.7 แปรรูปชิ้นส่วนทางกลความแม่นยำสูงด้วย High Speed Precision Machining Center, Super grinding machining, Micro Wire Electrical Machining และ Advanced ECM machining

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สร้างระบบกลุ่มนักวิจัยความร่วมมือระหว่างความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านที่สอดคล้องกันเพื่อการผลิตชิ้นส่วนมาตรฐานสอบเทียบ (Standard and calibration blocks) ตามมาตรฐานสากลทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ

1.4.2 ต้นแบบแท่งมาตรฐานสอบเทียบในงานตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูง ที่ใช้เทคโนโลยีภายในประเทศผลิตเอง

1.4.3 สามารถต่อยอดพัฒนาการผลิตชิ้นส่วนมาตรฐานและอุปกรณ์อื่นๆในงานทดสอบโดยไม่ทำลายต่อไปในอนาคตได้

1.4.4 ต่อยอดเพื่อการผลิต จำหน่ายและใช้งานเชิงพาณิชย์ต่อไป



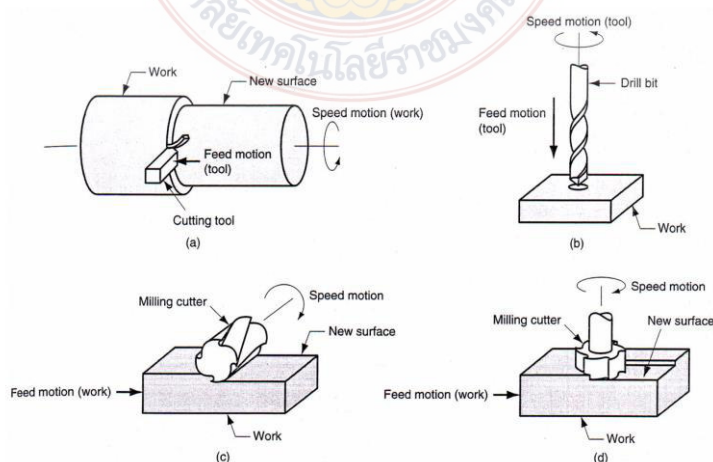
บทที่ 2

ทฤษฎีและกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

2.1 ทฤษฎีของกระบวนการกัดโลหะ

2.1.1 ชนิดของวิธีการกัด (Types of machining operations)

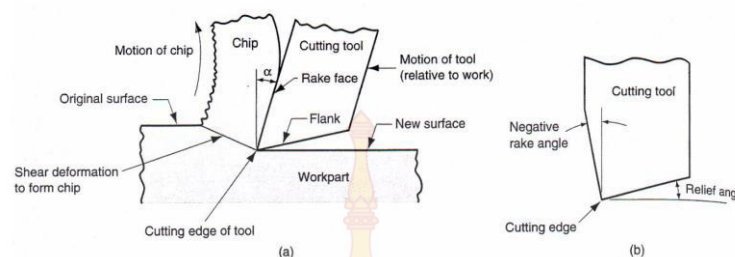
วิธีการกัดมีหลายประเภทซึ่งแต่ละวิธีจะมีขีดความสามารถในการผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างและลักษณะผิวงานที่เฉพาะตัว ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการกัดที่นิยมใช้กันมาก 3 วิธี ได้แก่ การกลึง (Turning) การเจาะ (Drilling) และ การกัดขึ้นรูป (Milling) ดังแสดงในรูปที่ 1 การกลึง ใช้เครื่องมือตัดที่มีคมตัดเดียว (Single cutting edge) ในการปอกเนื้อวัสดุจากชิ้นงานที่กำลังหมุนและทำให้เกิดชิ้นงานรูปทรงกระบอก (Cylindrical shape) ดังแสดงในรูป 2.1 (a) ความเร็วในการกลึงถูกกำหนดโดยความเร็วของการหมุนชิ้นงาน ส่วนการป้อนคือการเคลื่อนที่ช้าๆของมีดตัดในทิศทางขนานกับแกนหมุน (Axis of rotation) ของชิ้นงานการเจาะ ใช้ในการผลิตรูกลม (Round hole) ซึ่งทำได้โดยการใช้เครื่องมือตัดที่มีสองคมตัด (Two cutting edges) เครื่องมือตัดจะเคลื่อนที่ในทิศทางที่ขนานกับแกนการหมุน (Rotation of axis) ของชิ้นงานและเจาะลงไปบนชิ้นงานทำให้เกิดรูกลวง ดังแสดงในรูป 2.1 (b) การกัดขึ้นรูป จะใช้เครื่องมือตัดที่มีหลายคมตัด (Multiple cutting edges) มีดตัดจะหมุนและเคลื่อนที่ช้าๆสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของชิ้นงานทำให้เกิดระนาบของผิวงานใหม่ ทิศทางการป้อน (Feed direction) ของชิ้นงานจะตั้งฉากกับแกนการหมุนของเครื่องมือตัด ในขณะที่การหมุนของใบมีดตัดถูกกำหนดด้วยความเร็ว (Speed) การกัดขึ้นรูปมีหลายประเภท แต่ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมี 2 วิธี ได้แก่ Peripheral milling, และ Face milling ดังรูป 2.1 (c), (d) ตามลำดับ



รูปที่ 2.1 The three most common types of machining process: (a) turning, (b) drilling, and two forms of milling: (c) peripheral milling, and (d) face milling

2.1.1 เครื่องมือการตัด (The Cutting Tool)

เครื่องมือตัดอาจจะมีหนึ่งหรือหลายคมตัดที่ใช้ในการกำจัดเศษตัดออกจากชิ้นงานดังรูปที่ 2.2 ผิวหน้ามีดมี 2 ส่วนที่ควรพิจารณา ได้แก่ Rake face และ Flank

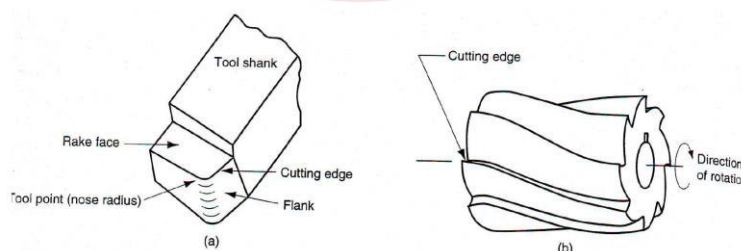


รูปที่ 2.2 (a) A cross-sectional view of the machining process, (b) Tool with negative rake angle; compare with positive rake angle in (a)

Rake face คือผิวหน้ามีดบริเวณที่ระบายหรือคายเศษตัดออกจากชิ้นงาน และอยู่ในตำแหน่งที่ทำมุมกับระนาบที่ตั้งฉากกับผิวหน้าของชิ้นงานเท่ากับ α โดยเรียกมุมนี้ว่า Rake angle ซึ่งมุมนี้สามารถเป็นค่าบวก (Positive angle) ดังรูปที่ 2.2 (a) หรือค่าลบ (Negative angle) ดังรูปที่ 2.2(b)

Flank คือผิวหน้ามีดบริเวณที่ทำให้เกิดช่องว่าง (Clearance) ระหว่างมีดตัดกับผิวหน้างานที่เกิดขึ้นใหม่ ซึ่งช่องว่างนี้จะป้องกันผิวงานจากการขัดถูกับมีดตัดอันจะเป็นผลให้คุณภาพของผิวงานเสียไป ผิวหน้ามีดส่วน Flank นี้จะอยู่ในตำแหน่งที่ทำมุมกับผิวหน้างานใหม่ด้วยมุมที่เรียกว่า Relief angle โดยมุมนี้ต้องมีขนาดโตพอที่จะไม่ทำให้ผิวหน้างานใหม่สัมผัสกับมีดตัด

การออกแบบรูปร่างและขนาดของมีดตัด รวมถึงการเลือกวัสดุที่ใช้ทำมีดตัดซึ่งต้องมีความแข็งแกร่งกว่าวัสดุที่ถูกตัดถือว่ามีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพของงานตัด เครื่องมือตัดส่วนใหญ่มีรูปร่างซับซ้อนกว่าที่แสดงในรูปที่ 2.2 มีดตัดทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ได้แก่ (a) มีดตัดคมเดียว (Single-point tools) (b) มีดตัดหลายคม (Multiple-cutting-edge tools)



รูปที่ 2.3 (a) A single-point tool, showing rake face, flank and tool point, and (b) a helical milling cutter, representative of tools with multiple cutting edges

2.2 ทฤษฎีอัลตราโซนิก

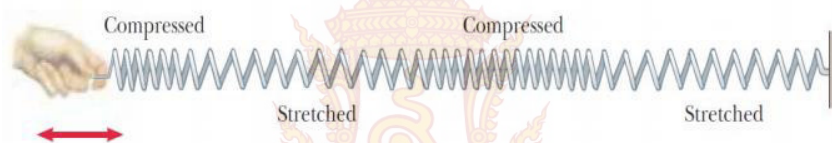
2.2.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของคลื่นเสียงความถี่สูง (Fundamental property of ultrasound)

ถ้าปล่อยพลังงานเสียงลงในวัตถุจะเห็นเป็นอนุภาค (Particle) ของวัตถุเกิดการสั่นสะเทือน พลังงานเสียงจะเป็นตัวแพร่กระจายผ่านวัตถุ อนุภาคมีได้เป็นตัวแพร่กระจายผ่านวัตถุ แต่อนุภาคเพียงแค่อันสะเทือนรอบจุดคงที่ (Fix point) เท่านั้น

2.2.2 ชนิดของคลื่นเสียง

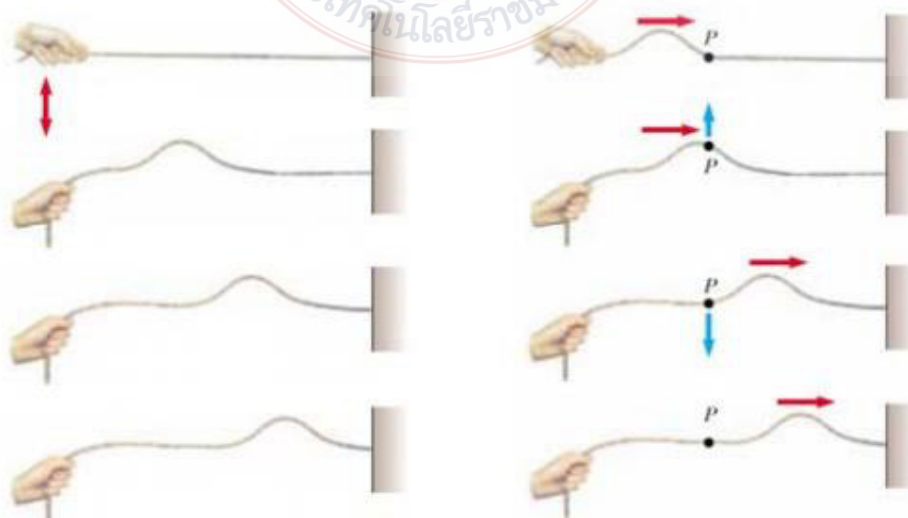
ชนิดของคลื่นเสียงมี 4 ชนิด ดังนี้

- คลื่นเสียงตามยาว (Compressional or longitudinal waves) อนุภาคของตัวกลางจะมีการสั่นสะเทือนหรือเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง จะมีช่วงอัดและขยายสลับกันไป ซึ่งถ้าวัตรระดับพลังงานจะปรากฏออกมาในรูปคลื่นขบวน คือ มีพลังงานสูงในช่วงอัด และลดลงในช่วงขยายสลับกันไป



รูปที่ 2.4 ลักษณะคลื่นเสียงตามยาว

- คลื่นเสียงตามขวาง (Transverse or shear waves) อนุภาคของตัวกลางจะมีการสั่นสะเทือนหรือเคลื่อนที่ไปในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง มีความเร็วประมาณเท่ากับ 0.5 เท่าของคลื่นเสียงตามยาว คลื่นเสียงตามขวาง สามารถเคลื่อนที่ในวัตถุที่เป็นของแข็งได้ เนื่องจากมีความต้านทานต่อแรงเฉือน



รูปที่ 2.5 ลักษณะคลื่นเสียงตามขวาง

- คลื่นผิว (Surface or rayleigh waves) คลื่นผิวเกิดจากการสั่นสะเทือน และมีการเคลื่อนที่ไปตามพื้นผิว ที่การเคลื่อนที่ของอนุภาคมีลักษณะเป็นวงรีดังแสดงในรูปที่ 2.5 ประกอบด้วยคลื่น 2 ชนิดรวมกัน คือคลื่นเสียงตามยาวและคลื่นเสียงตามขวาง คลื่นผิวมีความเร็วประมาณ 0.9 เท่าของคลื่นเสียงตามขวาง โดยที่คลื่นเสียงสามารถแพร่ลึกลงไปใ้เนื้อของวัสดุจากผิวด้านบนได้ประมาณหนึ่งความยาวคลื่นเสียง

- คลื่นแลมบ์ (Lamb waves) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าคลื่นเพลท (Plate waves) เกิดขึ้นในวัตถุที่มีความหนาใกล้เคียงกันกับความยาวคลื่น คลื่นแลมบ์ มี 2 รูปแบบคือ

- แบบไม่สมมาตร (Asymmetrical or bending waves)

- แบบสมมาตร (Symmetrical waves)

2.2.3 ความเร็วของคลื่นเสียง

ปัจจัยที่มีผลต่อความเร็วของคลื่นเสียงได้แก่ชนิดของตัวกลางและชนิดของคลื่นเสียง ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าคลื่นเสียงแต่ละชนิดที่ความเร็วที่แตกต่างกัน เรียงตามลำดับความเร็ว คือ คลื่นเสียงตามยาว คลื่นเสียงตามขวางและคลื่นเสียงที่ผิว ความสัมพันธ์ของความเร็วคลื่นเสียงเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$V = \lambda \times f \quad (2.1)$$

โดยที่ v คือ ความเร็วคลื่นเสียง (เมตรต่อวินาที)
 λ คือ ความยาวคลื่น (เมตร)
 f คือ ความถี่ (ครั้งต่อวินาที หรือเฮิรตซ์ (Hz))

ในตารางที่ 2.1 แสดงความเร็วของคลื่นเสียงตามยาวและคลื่นเสียงตามขวางของวัสดุชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ 2.1 ความเร็วคลื่นเสียงตามยาวและคลื่นเสียงตามขวาง

วัสดุ	ความเร็วคลื่นเสียงตามยาว (เมตรต่อวินาที)	ความเร็วคลื่นเสียงตามขวาง (เมตรต่อวินาที)
เหล็กกล้าคาร์บอน	5900	3230
สแตนเลส	5664	3120

2.2.4 การลดทอนของเสียง (Sound attenuation)

การลดทอนของเสียง หมายถึงการที่เสียงมีพลังงานลดลงเมื่อเสียงเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในตัวกลาง การลดทอนของเสียงขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ 2 ประการคือ มุมบาน และการลดทอนเนื่องจากวัสดุ (Material attenuation)

มุมบานเป็นองค์ประกอบสำคัญในการลดทอน เมื่อมุมบานมากขึ้นทำให้พลังงานกระจายไปในบริเวณที่กว้างทำให้ระดับพลังงานที่ตรงกึ่งกลางลำคลื่นลดลง

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

2.2.5 เครื่องมือทดสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงแยกตามประเภทตามการแสดงผลสัญญาณสะท้อน

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

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

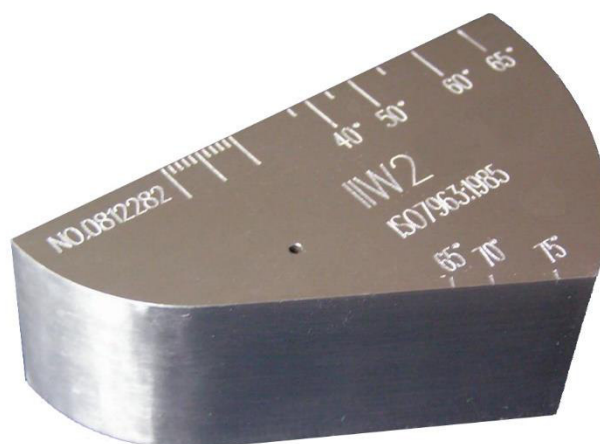
C-Scan เป็นเครื่องมือที่แสดงภาพในแนวระนาบ (Plane view) ของชิ้นงาน แต่ไม่แสดงขนาดของความลึก เพียงแต่แสดงความแตกต่างของความลึกออกมาในระดับความเข้มที่ไม่เท่ากัน

2.2.6 แท่งมาตรฐานสำหรับสอบเทียบ

เป็นแท่งมาตรฐานไว้สำหรับสอบเทียบหาจุดศูนย์กลางลำคลื่นของหัวตรวจสอบ (Probe index) เพื่อหามุมที่แท้จริงของหัวตรวจสอบแบบเอียง และตั้งระยะทดสอบ ฯลฯ แท่งสอบเทียบมาตรฐาน V1 และ V2 แสดงดังในรูปที่ 2.6 และ 2.7



รูปที่ 2.6 แท่งสอบเทียบมาตรฐาน V1



รูปที่ 2.7 แท่งสอบเทียบมาตรฐาน V2

2.2.7 สารช่วยสัมผัส (Couplant)

เป็นสารที่เข้าไปแทนที่ช่องว่างของอากาศระหว่างหัวตรวจสอบกับชิ้นงานเนื่องจากอากาศมีความต้านทานเสียง (Impedance) ที่ต่างจากชิ้นงานมากทำให้คลื่นเสียงผ่านจากหัวตรวจสอบเข้าไปในชิ้นงานได้น้อยมากสารช่วยสัมผัสมีสถานะเป็นได้ทั้งของเหลวถึงของเหลวเช่น แป้งเปียกหรือแมกกระทั้งของแข็งสารช่วยสัมผัสที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

- ไม่เป็นอันตรายต่อชิ้นงานหัวตรวจสอบและผู้ทดสอบ
- มีส่วนผสมสม่ำเสมอกระจายได้ดีตลอดทั่วทั้งชิ้นงานไม่มีช่องอากาศ
- สามารถเกาะติดได้บริเวณผิวชิ้นงานและสามารถกำจัดออกได้ง่าย
- สามารถส่งผ่านคลื่นเสียงได้ดีมีค่าความต้านทานคลื่นเสียงใกล้เคียงกับชิ้นงาน

2.2.8 หัวตรวจสอบ

ประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญดังต่อไปนี้

- ตัวเรือนภายนอก (Case) เพื่อให้หัวตรวจสอบรักษารูปร่างอยู่ได้และคงทนต่อการใช้งาน
- แผ่นป้องกันการสึก (Wear plate) เป็นแผ่นที่ใช้รองกันสึกเพื่อไม่ให้ผลึกที่มักทำจะวัสดุเพียโซอิเล็กทริก (PZT) ชัดสีกับผิวชิ้นงานโดยตรง

- ผลึกเพียโซอิเล็กทริก เป็นส่วนสำคัญที่สุดของหัวตรวจสอบ เป็นชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานทางไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล และเปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ขนาดของความถี่ธรรมชาติของผลึกเป็นตัวกำหนดความไวในการทดสอบ

- วัสดุรองหลัง (Backing material) เป็นตัวที่ทำหน้าที่ป้องกันเสียงสะท้อนภายในผลึกและเป็นตัวกำหนดระยะเวลาในการสั่นสะท้อนของผลึก ถ้าใช้วัสดุรองหลังที่มีการหน่วงสูง (Damp) จะทำให้ระยะเวลาในการสั่นสะท้อนของผลึกสั้นลง ทำให้หัวตรวจสอบมีความสามารถในการแยกแยะที่สูงขึ้น แต่ความสามารถในการทดสอบต่ำลง และจะให้ผลในทางที่กลับกันถ้าเลือกวัสดุที่มีความหน่วงต่ำ

- อีพอกซี (Epoxy) ใช้เติมลงไปช่องว่างของหัวตรวจสอบ เพื่อให้ชิ้นส่วนต่างๆ คงอยู่ในตำแหน่งเดิมตลอดระยะเวลาการใช้งาน

2.2.9 ชนิดของหัวตรวจสอบ

มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับการใช้งาน ได้แก่

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

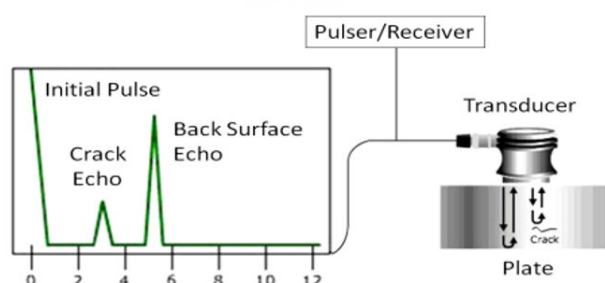
หัวตรวจสอบแบบแปรงทาสี (Paint brush) มีรูปร่างคล้ายแปรงทาสี มีขนาดใหญ่สามารถทดสอบครั้งเดียวได้เป็นบริเวณกว้าง

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

2.3 การตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic test) [1-3]

เป็นการตรวจสอบหารอยบกพร่องภายในชิ้นงาน โดยใช้คลื่นเสียงความถี่สูงผ่านเข้าไปยังชิ้นงาน ทดสอบโดยอาศัยหลักการในการส่งคลื่นเสียงความถี่ที่มากกว่า 20,000 Hz ซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่มนุษย์ไม่สามารถได้ยินเสียงดังกล่าวได้ (โดยปกติหูของมนุษย์จะสามารถรับฟังเสียงได้ในช่วงคลื่นความถี่ 20-20,000 Hz) เมื่อคลื่นเสียงกระทบกับสิ่งกีดขวางจะเกิดการสะท้อนกลับมายังภาครับสัญญาณในเครื่องตรวจสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง และประมวลออกมาในรูปของเส้นสัญญาณที่เรียกว่า A-Scan ทำให้สามารถตรวจสอบความไม่ต่อเนื่องและตรวจวัดความหนาของชิ้นงานได้ (คลื่นเสียงความถี่สูงนี้ มีคุณสมบัติในการผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็งและของเหลว แต่จะไม่ส่งผ่านและสะท้อนกลับในตัวกลางที่เป็นอากาศ) สำหรับการทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูงนี้ จำเป็นต้องใช้ผู้มีความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ในการใช้เครื่องมือและตีความสัญญาณ เพื่อแยกแยะรอยตำหนิที่อยู่ในชิ้นงานได้อย่างถูกต้องและน่าเชื่อถือดังรูปที่ 1 เมื่อคลื่นเสียงตกกระทบกับรอยตำหนิซึ่งมีความต้านทานทางเสียงไม่เท่ากับตัวกลางก็จะให้ สัญญาณสะท้อนกลับ (Reflection) ทำให้สามารถตรวจหารอยตำหนิที่อยู่ในตัวกลางได้โดยระยะเวลา (แกนแนวนอน) และความสูงแอมพลิจูด (Echo) สามารถนำมาใช้ ในการคำนวณตำแหน่งและขนาดของรอยตำหนิได้

การทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูงใช้ในการตรวจความสมบูรณ์ของเนื้อโลหะ เช่น การหลอมละลาย ไม่สมบูรณ์หรือรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้น ภายหลังการขึ้นรูปด้วยการเชื่อม (Welding) ของถังรับแรงดันสูงและงานโครงสร้างเหล็กตามมาตรฐานที่ใช้ในการก่อสร้างระบุไว้ นอกจากนี้ยังใช้ในการตรวจวัดความหนาของถังรับแรงดันสูงและระบบท่อที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม



รูปที่ 2.8 หลักการทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง [3]

2.4 การสอบเทียบด้วยแท่งมาตรฐานสำหรับตรวจปรับเครื่องอัลตราโซนิก (Calibration and Reference Test Blocks) [3]

เป็นขั้นตอนที่ต้องปฏิบัติก่อนการตรวจสอบงานจริงทุกครั้งโดยใช้ชิ้นงานสอบเทียบมาตรฐาน (Standard calibration block) เช่น IIW Block (V1) Type 2 ดังรูปที่ 2.9 สำหรับการหาตำแหน่งจุดปล่อย

ของลำคลื่นเสียง (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

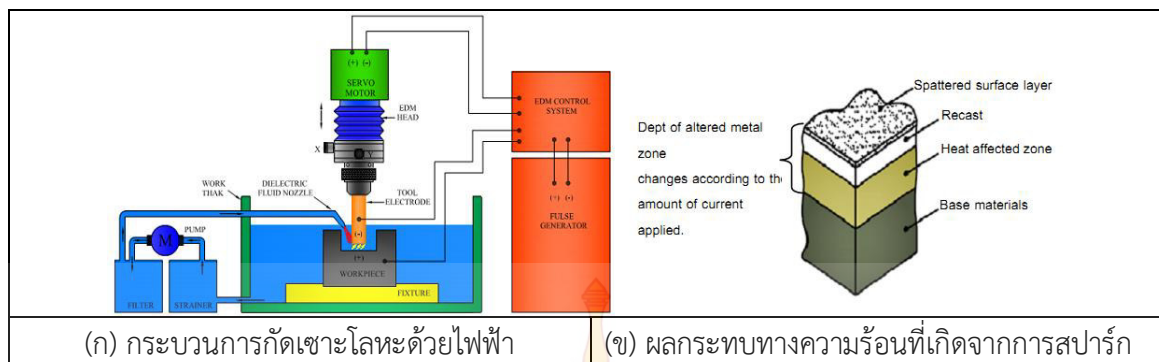
Block ที่ใช้เพื่อจุดประสงค์ที่ 1 และ 2 คือ Calibration block ขณะที่ Block ที่ใช้เพื่อจุดประสงค์ที่ 3 คือ Reference block โดย Test block ในแต่ละแท่งเป็นได้ทั้ง calibration และเป็น Reference ได้ในแท่งเดียวกัน



รูปที่ 2.9 Calibration and Reference Test Blocks [4]

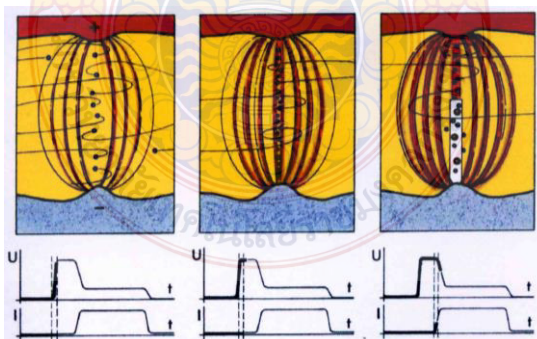
2.5 การแปรรูปด้วยกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้า (EDM: Electrical Discharge Machining)

จากนิยามตามมาตรฐาน DIN 8580 จัดได้ว่ากระบวนการกัดกร่อนของเครื่องกัดอาร์กด้วยไฟฟ้าเป็นกระบวนการแยก (Separating) อนุภาค (Particles) ของวัสดุ (Materials) โดยอาศัยความร้อนจากการอาร์กของไฟฟ้าให้เกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี (Electrochemical) เข้าไปทำลายพันธะการจับยึดของอนุภาคออกจากเนื้อวัสดุในรูปของของแข็ง ของเหลวหรือแก๊ส การกัดกร่อนด้วยไฟฟ้า (Electroerosion) ตามมาตรฐานดังกล่าวยังรวมไปถึงจ่ายประจุระหว่างขั้วสองขั้วเพื่อให้เกิดการสีกกร่อนในของเหลว (Dielectric Fluid) อีกด้วยแสดงกระบวนการกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้างดรูปที่ 2.10

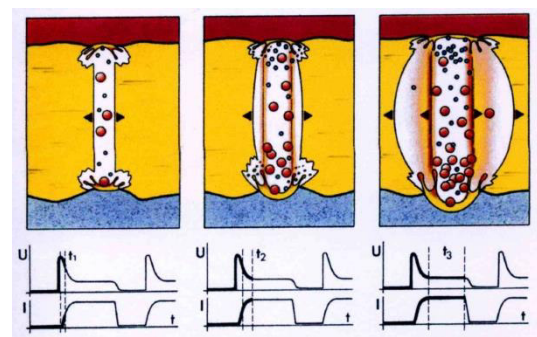


รูปที่ 2.10 กระบวนการกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้า

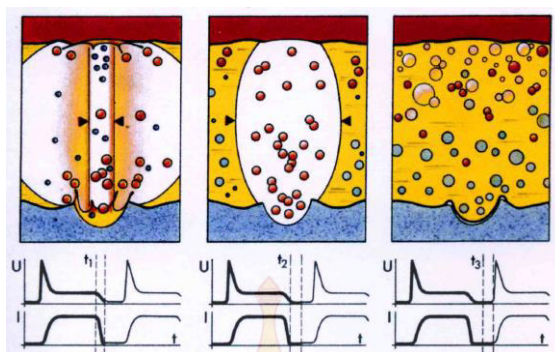
การจัดเนื้องานจากกระบวนการกัดอาร์กด้วยไฟฟ้าเป็นวัฏจักรการอาร์ก ในสารไดอิเล็กตริก โดยสถานะเริ่มต้นนี้จะเป็นการสร้างระยะห่างระหว่างผิวงานกับผิวอิเล็กโทรดเกิดเป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic) ในบริเวณพื้นผิวที่จะเกิดการอาร์ก ด้วยแรงดันไฟฟ้าสูงสุด โดยไม่มีกระแสไหลผ่านดังรูปที่ 2.11 และเมื่อระบบขับป้อน (Servo) สามารถรักษาระยะห่างได้จะเกิดการอาร์กซึ่งจะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลงโดยมีปริมาณกระแสไหลผ่านมากขึ้น โดยการอาร์กจะส่งผลให้เกิดช่องสุญญากาศที่เกิดจากการระเหยของสารไดอิเล็กตริกเมื่อได้รับความร้อนดังแสดงในรูปที่ 2.12 เมื่อสิ้นสุดการอาร์กช่องว่างสุญญากาศหดตัว สารไดอิเล็กตริกที่อยู่โดยรอบเข้ามาขจัดเศษโลหะและระบายความร้อนดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.11 สถานะเริ่มต้นของการสปาร์กในการกัดอาร์กด้วยไฟฟ้า



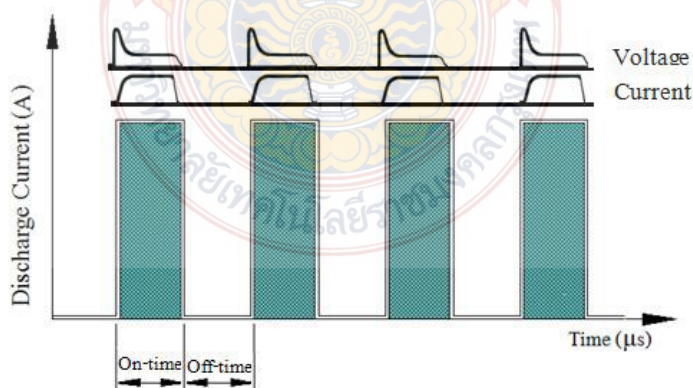
รูปที่ 2.12 สถานะการสปาร์กในการกัดอาร์กด้วยไฟฟ้า



รูปที่ 2.13 สถานะการจัดเศษและระบายความร้อนในการกัตอาร์กด้วยไฟฟ้า

จากวัฏจักรการอาร์กทำให้เกิดความสัมพันธ์ระหว่างเวลาปล่อยประจุกระแสไฟฟ้าที่เรียกว่าเวลาเปิด (On-Time) กับเวลาหยุดจ่ายประจุกระแสไฟฟ้าที่เรียกว่าเวลาปิด (Off-Time) ดังรูปที่ 2.14 โดยสามารถวัดประสิทธิภาพของการทำงานในหนึ่งวัฏจักร (Duty Cycle) ของการสปาร์กเท่ากับเวลาเปิดต่อเวลารวมในหนึ่งวัฏจักร (Total cycle time = On-time + Off-time) ดังแสดงในสมการที่ 2.2

$$\text{Duty Cycle} = \left(\frac{\text{On - Time}}{\text{Total Cycle Time}} \right) \times 100(\%) \quad (2.2)$$



รูปที่ 2.14 ช่วงระยะเวลาเปิด และปิดเพื่อให้เกิดการถ่ายเทประจุ

จากสมการหาผลเวลาปิดเพียงเล็กน้อยจะทำให้ Duty Cycle สูงขึ้นและมีผลต่อการปรับสภาพแวดล้อมในการสปาร์ก วัสดุอิเล็กโทรด วัสดุชิ้นงาน และสภาพแวดล้อมของสารไดอิเล็กตริกตลอดจนความสามารถในการรักษาสภาพความนำไฟฟ้า และความเสถียรในกระบวนการจัดเนื้องานเป็นอย่างมาก

2.5.1 เวลาเปิด (On-Time)

เวลาเปิดคือช่วงเวลาที่เกิดการถ่ายเทประจุของกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดการสปาร์ก กลายเป็นความร้อนสะสมที่ใช้ในการจัดเนื้องานจากการสร้างระยะห่างระหว่างผิววัสดุชิ้นงานกับวัสดุ อิเล็กโทรดจากความต้านทานของกระแส และใช้กระแสเป็นตัวกำเนิดพลังงานความร้อนในการทำให้งานสำเร็จลงระยะเวลาของการถ่ายเทประจุที่ยาวนานทำให้เกิดการหลอมละลายเป็นหลุมลึกที่มีความกว้างที่เกิดการหลุด

ร้อนจากการอาร์กเป็นแอ่งขนาดใหญ่และมีความลึกมาก จึงส่งผลให้ผิวชิ้นงานมีความหยาบสูงกว่าระยะเวลาการถ่ายเทประจุที่สั้น นอกจากนี้เวลาเปิดที่สูงจะทำให้เกิดการหลอมละลายและแข็งตัวของผิวงานที่เรียกว่า Recasting โดยในกรณีที่ใช้อิเล็กโทรดเป็นขั้วบวกจะทำให้การสึกหรอของอิเล็กโทรดลดลงเนื่องจากเกิดการเคลือบที่ผิวอิเล็กโทรด

2.5.2 เวลาปิด (Off-Time)

เวลาปิดคือช่วงเวลาที่หยุดพักการถ่ายเทประจุของกระแสไฟฟ้า ซึ่งไม่ทำให้เกิดความร้อน และการจัดเนื้องาน แต่จะทำให้เกิดความเสถียรในกระบวนการกัดอาร์กด้วยไฟฟ้า โดยเมื่อเวลาปิดมากขึ้นทำให้ความเร็วในการแปรรูปลดลง แต่จะทำให้เกิดการระบายความร้อน และขจัดเศษอนุภาคที่หลุดออกจากชิ้นงานได้มากขึ้นทำให้เกิดความเสถียรในการรักษาค่าความต้านทานของสารไดอิเล็กตริกซึ่งเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากในการสร้างช่องว่างระหว่างผิวงานกับอิเล็กโทรด เพื่อให้พร้อมในการสปาร์กในวัฏจักรถัดไป ทั้งนี้เวลาปิดที่ต่ำจะทำให้เกิดการจัดเนื้องานที่สูง และการสึกหรอของอิเล็กโทรดต่ำ เนื่องจากพลังงานต่อหน่วยเวลาขณะถ่ายเทประจุสูงในขณะที่เวลาระบายความร้อนซึ่งเป็นเวลาปิดต่ำ

2.5.3 กระแส (Current)

กระแสไฟฟ้าคือต้นกำเนิดของพลังงานที่ใช้ในการกัดกร่อนของกระบวนการ โดยมีหน่วยวัดเป็นแอมแปร์ (A) ทั้งเครื่อง EDM จะคำนวณค่ากระแสสูงสุดที่ใช้ต่อพื้นที่หน้าตัด (SA :Section Area) สำหรับงานจัดเนื้องานแบบหยาบจะใช้กระแสที่แอมแปร์สูงซึ่งเหมาะกับงานที่ไม่ต้องการรายละเอียดผิวมากนัก แต่โดยทั่วไปแล้วเครื่อง EDM จะเลือกใช้กระแสสูงสุดตามกฎหมาย 65 แอมแปร์ต่อพื้นที่ 1 ตารางนิ้ว ดังสมการที่ 2

$$\text{Maximum Amperage} = \text{SA} \times 65 \quad (2.3)$$

2.5.4 ความถี่ (Frequency)

ความถี่เป็นผลที่เกิดมาจากเวลาเปิด และเวลาปิดโดยความถี่แตกต่างจาก Duty Cycle ตรงที่ความถี่คำนวณจากวัฏจักรที่เกิดขึ้นต่อหน่วยเวลา (Sec) ดังสมการที่ 3 ซึ่งความถี่นี้จะส่งผลโดยตรงต่อความหยาบผิวชิ้นงานและการจัดเนื้อ (Total Cycle Time = On-time + Off-time)

$$\text{Frequency} = \frac{1}{\text{Total Cycle Time}} \quad (2.4)$$

เวลาเปิดสูงเวลาปิดต่ำจะทำให้เกิดค่าความถี่ต่ำจะทำให้ผิวชิ้นงานมีความหยาบมาก และมีการจัดเนื้องานที่สูง เนื่องจากเวลาปล่อยประจุที่ยาวนานทำให้ความร้อนที่เกิดจากการอาร์กกระจายตัวเป็นแอ่งกว้างและลึกตลอดจนส่งผลให้เกิดเป็นชั้นการหลอมเหลวและแข็งตัวใหม่ที่เรียกว่า Recasting ที่มีความหนาสูง ซึ่งเป็นเหตุให้บริเวณกระทบที่เกิดจากความร้อน (HAZ : Heat Affected Zone) ลึกลงไปในเนื้องาน หากเวลาปิดลดต่ำลงจะทำให้เกิดความถี่ที่สูงทำให้เกิดการหลอมละลายของการสปาร์กเป็นแอ่งที่มีความกว้างและความลึกลดลง ซึ่งทำให้ความหยาบผิวงานและความเร็วในการจัดเนื้องานลดต่ำลง แต่อิเล็กโทรดเกิดการสึกหรอเพิ่ม

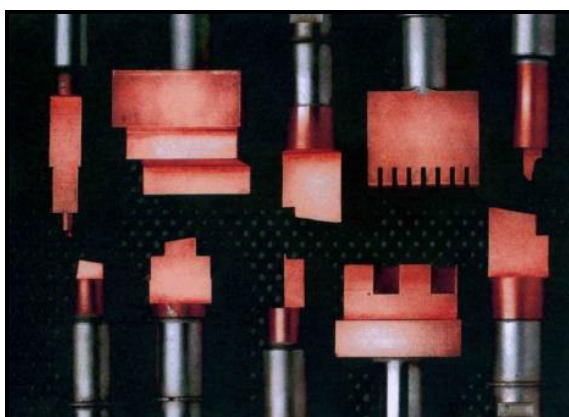
มากขึ้น หากเวลาเปิดลดลงต่ำมากจะทำให้เกิดเป็นความถี่สูงมากจะส่งผลให้ความหนาผิวชิ้นงานและความเร็วในการขจัดเนื้องานลดลงเป็นอย่างมาก

2.5.6 สารไดอิเล็กทริก (Dielectric)

สารไดอิเล็กทริกเป็นของเหลวตัวกลางที่กั้นระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด ซึ่งสาร ไดอิเล็กทริกที่นิยมใช้ได้แก่น้ำกลั่น (De - Ionized Water) และสารไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) โดยสารไดอิเล็กทริกจะทำหน้าที่รักษาสภาพการนำไฟฟ้า และช่วยระบายความร้อนตลอดจนขจัดอนุภาคเศษโลหะออกจากบริเวณผิวงานเพื่อป้องกันการเกิด Undercut เนื่องจากการฝังตัวของเศษโลหะและรักษาความเสถียรในการอาร์ก โดยสารไฮโดรคาร์บอนเมื่อสปาร์กจะแตกตัวกลายเป็นไฮโดรเจนซึ่งมีประจุเป็นบวก และคาร์บอนซึ่งมีประจุเป็นลบโดยคาร์บอนจะวิ่งเข้าหาขั้วบวก ถ้าอิเล็กโทรดเป็นขั้วบวกคาร์บอนก็จะวิ่งไปจับอิเล็กโทรด ซึ่งจะช่วยลดการสึกกร่อนของอิเล็กโทรดได้ แต่ถ้าอิเล็กโทรดที่ใช้เป็นลบคาร์บอนจะวิ่งไปจับผิวงานทำให้ผิวชิ้นงานมีลักษณะเป็นสีดำคล้ำ ความแตกต่างระหว่างสารไฮโดรคาร์บอนและน้ำคือ สารไฮโดรคาร์บอนมีค่าความต้านทานสูงกว่าน้ำกลั่น ดังนั้นในกระบวนการกัดโลหะด้วยกระแสไฟฟ้าทั่วไปจึงนิยมใช้สารไฮโดรคาร์บอนเป็นของเหลวตัวกลาง เนื่องจากค่าความต้านทานที่สูงทำให้การถ่ายเทประจุเกิดขึ้นได้ยากจึงเกิด Gap ในการสปาร์กที่ต่ำทำให้ผิวชิ้นงานมีความละเอียดสูง

2.6 วัสดุอิเล็กโทรด (Electrode Materials)

วัสดุแต่ละชนิดมีสมบัติที่แตกต่างกัน จึงทำให้อิเล็กโทรดสามารถสร้างขึ้นจากวัสดุหลายชนิด ตามความเหมาะสมกับวัสดุชิ้นงานที่ทำการอาร์กและสารไดอิเล็กทริกที่ใช้ โดยวัสดุอิเล็กโทรดที่ดีมีสมบัติดังนี้คือ ง่ายต่อการแปรรูปด้วยกรรมวิธีที่มีค่าใช้จ่ายต่ำ ประสิทธิภาพในการขจัดเนื้องานสูง อัตราการสึกหรอของอิเล็กโทรดต่ำ สามารถกระจายความร้อนและนำไฟฟ้าได้ดี ที่สำคัญคือสามารถต้านทานต่อการผิรุ่ย วัสดุบางชนิดมีอัตราการสึกหรอต่ำ แต่ยากที่จะนำมาแปรรูปเป็นอิเล็กโทรดจึงไม่เป็นที่นิยม สำหรับวัสดุอิเล็กโทรดที่ใช้ในกระบวนการกัดอาร์กด้วยไฟฟ้าที่เหมาะสมกับเหล็กกล้าคือทองแดง (Copper) ดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ลักษณะรูปทรงของอิเล็กโทรดทองแดง

2.7 วิศวกรรมย้อนรอย (Reverse Engineering)

วิศวกรรมนั้นเป็นวิชาชีพที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ การผลิต การก่อสร้างและบำรุงรักษา ผลิตภัณฑ์ระบบและโครงสร้างต่างๆ ในวิศวกรรมขั้นสูงแบ่งได้เป็นวิศวกรรม 2 ประเภทคือ วิศวกรรมก้าวหน้าและวิศวกรรมย้อนกลับ

วิศวกรรมก้าวหน้าเป็นกระบวนการที่ทำตามแบบแผนจากทฤษฎีพื้นฐาน และการออกแบบตามหลักการไปสู่การผลิตและสร้างผลงานจริงจากการออกแบบให้มีความถูกต้อง ในบางสถานการณ์ อาจมีชิ้นส่วนบางอันที่ไม่มีรายละเอียดทางด้านเทคนิค เช่น Drawings รายการของวัสดุ หรือไม่มีข้อมูลทางวิศวกรรมเช่น คุณสมบัติทางด้านความร้อนและไฟฟ้า

กระบวนการที่จะสร้างชิ้นส่วนที่มีอยู่นั้นๆ โดยปราศจาก Drawings เอกสารประกอบหรือข้อมูลโมเดลในคอมพิวเตอร์ กระบวนการนี้เรียกว่า วิศวกรรมย้อนกลับ ซึ่งวิศวกรรมย้อนกลับเป็นวิธีที่ทากันในสาขาต่างๆ ที่ทำงานในลักษณะย้อนกลับ เช่น วิศวกรรมซอฟต์แวร์ วงการบันเทิง ยานยนต์ สินค้าอุปโภคบริโภค เคมี อิเล็กทรอนิกส์และการออกแบบเครื่องกล ตัวอย่างเช่น เมื่อมีเครื่องจักรรุ่นใหม่ออกสู่ตลาด ในบางครั้งผู้ผลิตรายที่เป็นคู่แข่งต้องซื้อเครื่องจักรใหม่นั้นไปเรียนรู้การทางาน ซึ่งบางครั้งต้องแยกเป็นชิ้นๆ เพื่อให้ทราบถึงขั้นตอนการประกอบ บริษัททางด้านเคมีบางครั้งใช้วิศวกรรมเพื่อค้นหากระบวนการผลิตของบริษัทคู่แข่ง ในส่วนของวิศวกรรมโยธการออกแบบตึกและสะพาน เป็นการคัดลอกจากสิ่งที่เคยทามาสำเร็จแล้วในอดีต ซึ่งจะมีโอกาสผิดพลาดน้อย ในวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องกับซอฟต์แวร์ Source code ที่ดีคือการนำเอา Source code อื่นมาปรับปรุง

ในบางสถานการณ์นักออกแบบสร้างรูปทรงตามจินตนาการของพวกเขาโดยใช้ดินเหนียว ปูน พลาสติก ไม้หรือยางแต่ยังคงมีความต้องการโมเดล CAD คอมพิวเตอร์เพื่อนำไปสร้างจริง ยิ่งรูปทรงผลิตภัณฑ์ที่มีความซับซ้อนมากเท่าไร การออกแบบด้วย CAD ต้องใช้ความพยายามมากหรือเป็นไปได้ยากใช้การเขียนแบบด้วยโปรแกรมเขียนแบบขึ้นมา วิศวกรรมย้อนกลับจึงเหมาะสมสำหรับปัญหากับลักษณะทางกายภาพของโมเดลที่มีความซับซ้อน เหตุผลอื่นๆที่ต้องใช้วิศวกรรมย้อนกลับคือ เวลาที่จำกัดสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ เนื่องจากการแข่งขันสูงของตลาดโลก ผู้ผลิตจำต้องหาทางเลือกใหม่อยู่เสมอ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ใหม่ออกสู่ตลาดได้เร็วที่สุด Rapid product development (RPD) กล่าถึงเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นเพื่อช่วยผู้ผลิตและนักออกแบบได้บรรลุความต้องการที่จะลดเวลาในการพัฒนาผลิตภัณฑ์

เหตุผลที่วิศวกรรมย้อนกลับถูกนำมาใช้เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการ

- ผู้ผลิตเดิมยกเลิกการผลิต
- เอกสารการออกแบบไม่เพียงพอ
- ผู้ผลิตเลิกกิจการ แต่ลูกค้ายังต้องการผลิตภัณฑ์
- มีความจำเป็นในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์
- เพื่อเป็นการวิเคราะห์ข้อดีข้อเสียของผลิตภัณฑ์
- เพื่อศึกษาค้นคว้าแนวทางใหม่ๆ ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต
- เพื่อเพิ่มวิธีการแข่งขันในตลาดเพื่อเข้าใจถึงการผลิตของผู้แข่งขันและการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ดียิ่งขึ้น

วิศวกรรมย้อนกลับสามารถหาการเก็บข้อมูลทางกายภาพชิ้นงานได้ คือ ขนาด รูปทรง และข้อมูลวัสดุ ก่อนที่จะหาวิศวกรรมย้อนกลับจะต้องมีการวางแผนและการวิเคราะห์เกี่ยวกับ ระยะเวลาและค่าใช้จ่าย แต่ด้วยวิศวกรรมย้อนกลับเป็นวิธีที่ให้ผลคุ้มค่ากับการหาข้อมูล ชิ้นส่วนนั้นไปผลิตออกสู่ตลาดในปริมาณมากๆ กล่าวได้ว่าวิศวกรรมย้อนกลับเริ่มต้นจากผลิตภัณฑ์หรือชิ้นงาน กระบวนการเก็บข้อมูล การปรับปรุงแบบจำลอง จนถึงข้อมูลการออกแบบที่อยู่ในภาพถ่ายหลายมุมมอง (Drawing)

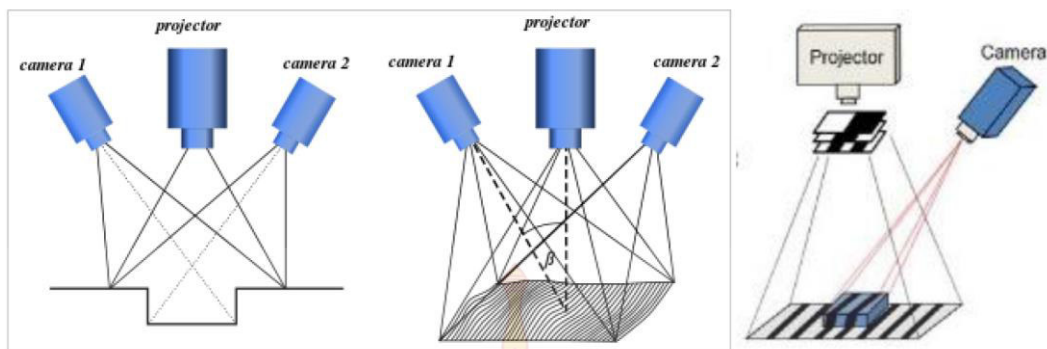
2.7.1 เทคโนโลยีสแกนเนอร์ 3 มิติ (3D scanner technology)

เทคโนโลยีสแกนเนอร์แบ่งได้ 2 แบบคือ แบบสัมผัสและแบบไม่สัมผัส แบบสัมผัสได้แก่ เครื่องวัดตำแหน่ง (Coordinate measuring machine - CMM) ซึ่งจะมีหัววัด (Probe) สัมผัสชิ้นงานเพื่อวัดจุดพิกัดตำแหน่งต่างๆ ของชิ้นงาน วิธีนี้ค่อนข้างใช้เวลาค่อนข้างมาก ส่วนแบบไม่สัมผัสจะใช้เทคโนโลยีแสงเลเซอร์หรือแสงที่มีรูปแบบ (Structured light) เช่นแสงที่มีรูปแบบของแถบสว่างสลับกันหลายๆ แถบ เป็นต้น ทำงานร่วมกับกล้อง (Charged coupling device – CCD) เพื่อวัดตำแหน่งของผิวชิ้นงานโดยอาศัยหลักการคำนวณแบบสามเหลี่ยม

เทคโนโลยีสแกนเนอร์แบบไม่สัมผัสได้เข้ามามีบทบาทในการหาวิศวกรรมย้อนรอย ในอุตสาหกรรม การผลิตชิ้นส่วนทดแทนโดยการสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์ 3 มิติ ได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ เพื่อนำข้อมูลที่ได้นำสู่กระบวนการพัฒนาการผลิตต่อไป การสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์ 3 มิติด้วยเทคโนโลยีสแกนเนอร์เริ่มจากการสแกนชิ้นงานด้วยเครื่องสแกน ข้อมูลที่ได้ได้จากเครื่องสแกนคือ กลุ่มของจุด(point cloud) เพื่อให้จุดเหล่านี้เป็นพื้นผิว เมื่อได้พื้นผิวแล้วสามารถแปลงเป็นไฟล์มาตรฐานเช่น IGES (Initial Graphics Exchange Specification) หรือ STEP (Standard for the exchange of product data) ที่สามารถเปิดได้ในโปรแกรม CAD ทั่วไป เช่น Solid work, Unigraphics Pro/Engineering เป็นต้น ซึ่งจะได้แบบจำลองคอมพิวเตอร์ 3 มิติที่สามารถนำไปใช้ออกแบบแม่พิมพ์และการจำลองเคลื่อนที่ของหัวกัดและผลิต รหัส G ของเครื่องกัดซีเอ็นซีด้วยโปรแกรม CAM ต่อไป

2.7.2 เครื่อง Optical Scan

หลักการทางานของเครื่องเก็บพิกัดสามมิติระบบออปติคจะใช้กฎสามเหลี่ยม โดยมีชุดอุปกรณ์ส่งสัญญาณส่ง Fringe Pattern ที่แตกต่างกันไปยังวัตถุที่ต้องการวัดและมีตัวจับสัญญาณคือกล้องสองตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.16 จากนั้นใช้ The optical transformation equation และการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ก็จะได้พิกัดสามมิติของวัตถุ ซึ่งความถูกต้องของค่าที่ได้จะขึ้นกับความละเอียดของกล้องที่ใช้จับสัญญาณ

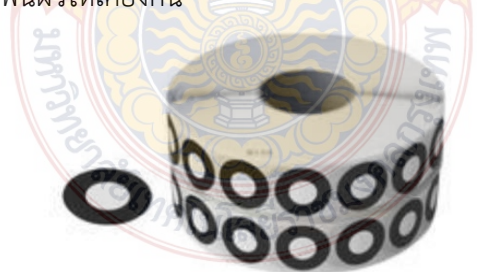


รูปที่ 2.16 หลักการกฎสามเหลี่ยมและลักษณะของสัญญาณ Fringe pattern ขณะทำการวัด

2.7.3 จุดอ้างอิงตำแหน่ง(Reference Point)

จุดอ้างอิงมีหน้าที่ในการอ้างอิงตำแหน่งผิวของชิ้นงานที่นำมาสแกนโดยจุดอ้างอิงมีอยู่ 2 ประเภทคือ

1. Un-Code reference point ใช้เพื่อระบุตำแหน่งพื้นผิวให้กับเครื่องวัดโดยการติดตั้งบนผิวชิ้นงาน
2. Code reference point ใช้เพื่อระบุตำแหน่งพื้นผิวโดยระบุให้ชัดเจนมากกว่าโดยใช้สัญลักษณ์บนจุดอ้างอิงที่ต่างกันเป็นตัวบอกตำแหน่งที่ชัดเจน การผิดพลาดจะเกิดขึ้นน้อยกว่า ใช้กับชิ้นงานขนาดใหญ่ซึ่งมีลักษณะพื้นผิวให้เคียงกัน



รูปที่ 2.17 ตัวอย่างจุดอ้างอิง (Un-Code Reference point) ที่ใช้ติดผิวชิ้นงาน

2.8 อินฟราเรดเทอร์โมมิเตอร์และกล้องถ่ายภาพความร้อน [5]

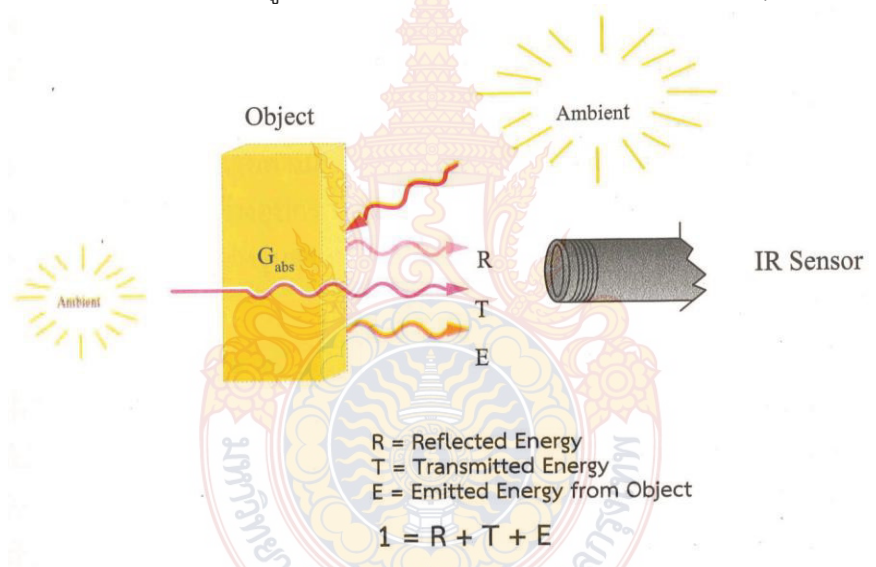
อินฟราเรดเทอร์โมมิเตอร์และกล้องถ่ายภาพความร้อนเป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิในกลุ่มของไพโรมิเตอร์ ซึ่งวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส นิยมใช้งานในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้งานในย่านอุณหภูมิที่สูงกว่าการวัดของเทอร์โมคัปเปิลหรือในสภาวะที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องมือวัดได้ เช่น สภาวะแวดล้อมที่มีการกัดกร่อน เป็นต้น นอกจากนี้ยังนิยมใช้ตรวจวัดอุณหภูมิของวัตถุ ที่มีการเคลื่อนที่ เช่น การวัดอุณหภูมิของวัตถุที่วางอยู่บนสายพานในกระบวนการผลิต เป็นต้น

หลักการทำงานของไพโรมิเตอร์โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงแสงและการแผ่รังสีของวัตถุ โดยวัตถุจะเริ่มแผ่รังสีความร้อน (Thermal radiation) ออกมาที่อุณหภูมิมากกว่า 0 องศาสมบูรณ์ (Absolute Zero Temperature หรือ -273.15°C หรือ 0 K) กลไกการแผ่รังสีความร้อนเกิดจากการสั่น (Oscillation) และการเคลื่อนที่ (Transition) ของอิเล็กตรอนซึ่งประกอบกันเป็นสสาร วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงอิเล็กตรอนจะสั่น

หรือเคลื่อนที่มากส่งผลให้พลังงานภายในวัตถุมีค่าสูง กล่าวได้ว่าพลังงานความร้อนที่แผ่ออกจากวัตถุมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับอุณหภูมิ

รังสีความร้อนที่แผ่ออกจากวัตถุที่เซนเซอร์ชนิดอินฟราเรดรับไปจึงไม่ได้มีเพียงรังสีจากตัววัตถุเองเท่านั้น แต่ยังประกอบด้วยรังสีจากวัตถุอื่นๆ อีกดังรูปที่ 2.18 ซึ่งประกอบไปด้วย

E คือพลังงานที่ปล่อยออกจากวัตถุ โดยมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องคือค่า emissivity ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0-1 ค่า emissivity นี้มีตัวแปรที่สำคัญคือ อุณหภูมิ ลักษณะ พื้นผิว ชนิดของวัสดุ เช่น กรณีวัตถุสองชิ้นมีอุณหภูมิเท่ากัน ทำจากวัสดุชนิดเดียวกัน วัตถุชิ้นหนึ่งใหม่ และอีกชิ้นหนึ่งเก่า อุณหภูมิที่แสดงที่กล้องจะได้ค่าที่แตกต่างกัน เนื่องจากวัสดุเก่าและใหม่มีค่า emissivity ที่ไม่เท่ากัน ดังนั้น ค่า ตาราง emissivity สามารถใช้เพียงค่าที่แนะนำเบื้องต้นเท่านั้น ค่าที่ถูกต้องควรทำการทดสอบเพื่อหาค่า emissivity



รูปที่ 2.18 การรับค่าพลังงานของเซนเซอร์อินฟราเรด[5]

T คือ พลังงานที่ทะลุผ่านวัตถุ วัสดุที่รังสีอินฟราเรดสามารถทะลุได้ เช่น เลนส์ที่ทำจาก Germanium IR window มีลักษณะเหมือนกระจกซึ่งคลื่นแสงและรังสีอินฟราเรดสามารถผ่านได้

R คือ พลังงานที่สะท้อนจากสิ่งแวดล้อม (Ambient) รอบวัตถุที่ต้องการถ่ายภาพ โดยกล้องถ่ายภาพความร้อนบางผลิตภัณฑ์สามารถตั้งค่าอุณหภูมิเพื่อชดเชยการสะท้อนได้ สำหรับบางผลิตภัณฑ์เรียกอุณหภูมินี้ว่า Background temperature หรือ (Reflect temperature compensate; RTC)

ไพโรมิเตอร์ชนิดอินฟราเรด (Infrared pyrometer) เป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่ผิวของวัตถุ ซึ่งเป็นการตรวจวัดแบบไม่สัมผัสและไม่ทำลายวัตถุ แบ่งตามลักษณะการวัดได้ 2 แบบคือ การวัดอุณหภูมิแบบจุด เรียกเครื่องมือวัดอุณหภูมินี้ว่า “เทอร์โมมิเตอร์ชนิดอินฟราเรด” ดังรูปที่ 2.19 และการวัดอุณหภูมิแบบพื้นที่ เรียกว่าเครื่องมือวัดอุณหภูมินี้ว่า “กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal Image camera, TI-camera หรือ Infrared thermography)



รูปที่ 2.19 ไพโรมิเตอร์ชนิดอินฟราเรด [5]

การเปลี่ยนรังสีอินฟราเรดที่เซนเซอร์ตรวจจับให้อยู่ในหน่วยของอุณหภูมิอาศัยทฤษฎีของ Planck distribution และ กฎของ Stefan-Boltzmann ลักษณะการทำงานของไพโรมิเตอร์ชนิดอินฟราเรด ส่วนประกอบสำคัญของไพโรมิเตอร์ชนิดอินฟราเรดประกอบด้วย เลนส์ (Lens) ตัวตรวจจับรังสีอินฟราเรด (Infrared detector) หรือ เซนเซอร์อินฟราเรด (Infrared sensor) วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic circuit) และส่วนแสดงผล (Display) โดยมีหลักการทำงานดังนี้ ตัวตรวจจับรังสีอินฟราเรดทำหน้าที่รับรังสีอินฟราเรดที่แผ่ออกจากวัตถุเป้าหมาย (Target) ผ่านเลนส์ของเครื่องมือวัดและแปลงรังสีอินฟราเรดเหล่านี้ให้อยู่ในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้า โดยรังสีอินฟราเรดที่ตัวตรวจจับรับไปนั้นประกอบด้วยรังสีวัตถุเป้าหมายแผ่ออกมาพร้อมกับรังสีที่แผ่จากวัตถุอื่นหรือจากสิ่งแวดล้อมสะท้อนออกจากผิวของวัตถุเป้าหมาย จากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ทำหน้าที่แปลงข้อมูลที่ได้รับมาจากตัวตรวจจับและนำไปแสดงข้อมูลที่ตัวแสดงผล (Display) ซึ่งอาจแสดงผลออกมาในรูปแบบของตัวเลข สี หรือ กราฟ หรือ ทั้ง 3 รูปแบบ โดยเทอร์โมมิเตอร์ชนิดอินฟราเรดมักแสดงผลออกมาในรูปของตัวเลข ส่วนกล้องถ่ายภาพความร้อนแสดงผลออกมาในรูปแบบของตัวเลขและสี โดยกล้องถ่ายภาพความร้อนประกอบด้วยเซนเซอร์ชนิดอินฟราเรดหลายตัว แต่ละตัวแสดงผลออกมาในรูปแบบของสีที่แตกต่างกันตามอุณหภูมิของจุดนั้นๆ โดยสีแดงแสดงผลของบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงและสีน้ำเงินแสดงผลของบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำหรือโทนสีสว่างแสดงผลของบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงและโทนสีมืดแสดงผลของบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ผลของแต่ละจุดที่ได้จาเซนเซอร์แต่ละตัวเมื่อนำมารวมกันจะประกอบขึ้นเป็นภาพ เรียกว่า ภาพถ่ายความร้อน (Thermal Image) ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 กล้องถ่ายภาพความร้อน [5]

2.8.1 ปัจจัยที่มีผลต่อความถูกต้องของการวัดอุณหภูมิ

ค่าความถูกต้องของอุณหภูมิที่ตรวจวัดได้จากไพโรมิเตอร์ชนิดอินฟราเรด ขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะพื้นผิวของวัตถุเป้าหมายหรือวัตถุที่ต้องการตรวจวัดอุณหภูมิ ระยะห่างระหว่างเครื่องมือและวัตถุเป้าหมาย และคุณลักษณะเฉพาะของเครื่องมือวัดนั้นๆ รายละเอียดของปัจจัยที่มีผลต่อความถูกต้อง มีดังนี้

1) ค่าความสามารถในการแผ่รังสีของวัตถุ (Emissivity, ϵ)

การแปลงพลังงานความร้อนที่ได้จากการตรวจวัดการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุเป็นอุณหภูมิที่ถูกต้อง จำเป็นต้องกำหนดค่า ϵ ของวัตถุที่เหมาะสม เพื่อให้ค่าอุณหภูมิของวัตถุที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริง ดังนั้น ในการวัดค่าอุณหภูมิด้วยเครื่องมือวัดอุณหภูมิชนิดนี้ (เทอร์โมมิเตอร์ชนิดอินฟราเรดและกล้องถ่ายภาพความร้อน) เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง จำเป็นต้องทราบค่า ϵ แท้จริงของวัตถุและเครื่องมือวัดชนิดอินฟราเรดที่ดีควรมีฟังก์ชันใช้งานที่สามารถปรับค่า ϵ ให้เหมาะสมกับชนิดและลักษณะพื้นผิวของวัตถุได้

2) ค่าการสะท้อนรังสีของผิววัตถุ (Reflection, R)

เนื่องจากตัวตรวจวัดรังสีอินฟราเรดที่ติดตั้งภายในเครื่องมือวัดไม่ได้รับเฉพาะรังสีอินฟราเรดที่เกิดจากตัววัตถุเป้าหมายเท่านั้น (Emission, E) แต่ยังรับรังสีที่สะท้อนมาจากวัตถุอื่นด้วย ทำให้ค่าอุณหภูมิที่วัดได้เกิดความคลาดเคลื่อน ดังนั้น เพื่อให้รังสีอินฟราเรดที่เซนเซอร์รับไปเป็นรังสีที่เกิดจากวัตถุจริงๆ เท่านั้น จึงต้องป้อนค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมหรือวัตถุอื่นที่แผ่รังสีมากระทบกับวัตถุเป้าหมายให้กับเครื่องมือวัดด้วย เพื่อนำอุณหภูมิดังกล่าวไปใช้ในการชดเชยค่าการสะท้อน ซึ่งค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดจะมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

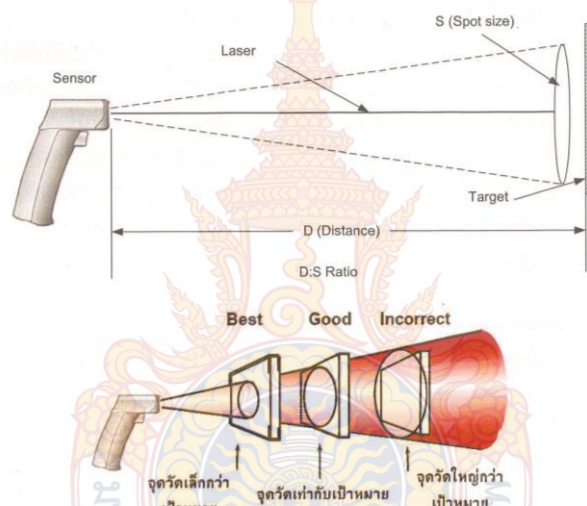
3) ระยะห่างระหว่างวัตถุกับเครื่องมือวัด

ค่าความผิดพลาดของไพโรมิเตอร์ชนิดอาศัยการเปลี่ยนแปลงของการแผ่รังสีของวัตถุ อาจเกิดการเคลื่อนที่ของรังสีผ่านตัวกลาง เช่น อากาศที่ ไฉ คว้น ก๊าซหรือฝุ่นละอองกระจายอยู่ สิ่งต่างๆ เหล่านี้จะดูดซึมพลังงานบางส่วนจากรังสีก่อนที่จะไปถึงตัวเครื่องมือวัด ทำให้พลังงานที่เซนเซอร์ตรวจวัดได้มีค่าลดลง ค่าที่วัดได้จึงคลาดเคลื่อน

3) พื้นที่การวัด

เทอร์โมมิเตอร์ชนิดอินฟราเรด สมบัติที่สำคัญเกี่ยวกับพื้นที่ของการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมมิเตอร์ชนิดอินฟราเรดคือ ค่าอัตราส่วนระหว่างระยะห่างของวัตถุกับเครื่องมือวัด (Distance, D) และพื้นที่การวัด (Spot Size, S) หรือ D:S แสดงถึงระยะที่เหมาะสมของการวัดซึ่งสัมพันธ์กับพื้นที่ที่ต้องการตรวจวัดอุณหภูมิ สมบัติข้อนี้เป็นสมบัติเฉพาะตัว (Specifications) ของเครื่องมือวัดแต่ละผลิตภัณฑ์

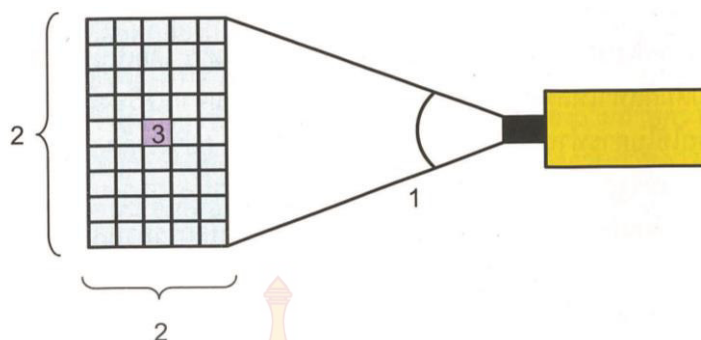
โดยหากจุดวัดที่ต้องการวัดอุณหภูมิ (Measure spot) หรือจุดร้อน (Hot Spot) มีขนาดเล็กมากหรือมีขนาดเล็กกว่าพื้นที่ของการวัดมากๆ จะทำให้อุณหภูมิรอบข้างที่ไม่เกี่ยวข้องกับจุดที่ต้องการตรวจวัดหรืออุณหภูมิในจุดที่ไม่ร้อนเข้าไปรวมอยู่ในพื้นที่ของการวัดด้วยซึ่งเมื่อแปลผลพลังงานที่วัดค่าอุณหภูมิที่ได้จึงคลาดเคลื่อนจากค่าที่แท้จริงขอบเขตหรือพื้นที่การวัดแสดงดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 พื้นที่การวัดหรือขอบเขตการวัดเทอร์โมมิเตอร์ชนิดอินฟราเรด [5]

กล้องถ่ายภาพความร้อน

สมบัติที่สำคัญเกี่ยวกับพื้นที่ของการวัดอุณหภูมิด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อนคือค่าขอบเขตการมองเห็น (Field Of View) โดย FOV เป็นสมบัติที่แสดงถึงพื้นที่การมองเห็นวัตถุของกล้องถ่ายภาพความร้อน แสดงค่าเป็นมุมของกล้องที่มองเห็นไปยังวัตถุมีหน่วยเป็นองศา หากระยะทางการวัดเปลี่ยนจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงพื้นที่การรับรังสีอินฟราเรดหรือบริเวณการมองเห็นจากวัตถุด้วย โดยถ้าระยะห่างระหว่างกล้องกับวัตถุน้อย กล้องจะสามารถรับรายละเอียดของพื้นที่หรือบริเวณการมองเห็นของวัตถุได้แคบกว่าระยะห่างกล้องกับวัตถุที่ห่างกันมาก เช่นเดียวกับกรณีของเทอร์โมมิเตอร์ชนิดอินฟราเรด ภายใน FOV ซึ่งค่า IFOV แสดงความสัมพันธ์กับค่าละเอียดของกล้องถ่ายภาพความร้อน ขอบเขตการมองเห็นของกล้องถ่ายภาพความร้อนแสดงดังรูปที่ 2.22



หมายเลข 1 แสดง FOV

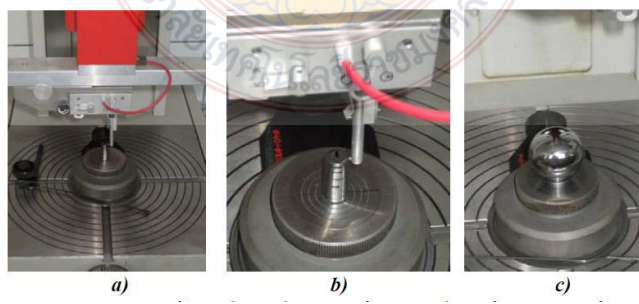
หมายเลข 2 แสดง พื้นที่หรือบริเวณการมองเห็นจากกล้อง TI

หมายเลข 3 แสดง IFOV

รูปที่ 2.22 ขอบเขตการมองเห็นของกล้อง TI: FOV และ IFOV [5]

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Michal OMÁMIK, Ivan BARÁNEK [6] ได้ทำการศึกษาเรื่อง Metrological control of selected surface types of a mechanical part by using on-machine measurement system ที่เกี่ยวกับการวิจัยระบบการวัดบนเครื่องสำหรับเครื่องกัดหลายแกน CNC multi-axis milling machine ที่เหมาะสมใน measuring parameters สำหรับระบบการวัดบนเครื่องเพื่อที่จะเข้าถึงการควบคุมคุณภาพที่ถูกต้องและเชื่อถือได้ของส่วนเครื่องจักรกล ไม่รวมการทดลองดังกล่าวข้างต้นจากวัด CMM ขั้นตอนต่อไปของการทดลองวิจัยปัจจุบันอยู่ที่ระดับสูงของความสำเร็จ



รูปที่ 2.23 Measuring process of roundness deviation for partial artefact part performed on MK 300 roundness tester, a) view of measuring the roundness deviation of a cone, b) detailed view of measuring the roundness deviation of a cone, c) detailed view of measuring a sphere.

M. F. LI, S. Y. YEP, AND Y. C. LIM [7] ได้ทำการศึกษาเรื่อง A Novel Integrated CMOS Switch Circuit for High Precision Sample-and-Hold Technique ซึ่งเป็นเทคนิคสำหรับการใช้งาน

ความแม่นยำสูง สวิทช์สลับการดำเนินการควบคุม โดยกระแส pulses ลดค่าใช้จ่ายเนื่องจาก feed ผ่านนาฬิกา และการฉีดประจุเป็นสัญญาณอิสระ ในความถูกต้องแม่นยำอย่างค้ำมาขึ้น

ALEKSEY MIRONOV and ANDREY ZAKHAROV [8] ได้ทำการศึกษาเรื่อง SYSTEMATIC ERRORS OF HIGH-PRECISION PHOTOMETRIC CATALOGUES การเลียนแบบที่ถูกต้องมากของ magnitudes Hipparcos และ Tycho H_p , B_T และ V_T ขึ้นโดย W , B , V , R magnitudes จาก Tien Shan photometric catalogue เพื่อคำนวณได้เปรียบเทียบกับสิ่งที่สังเกต มันแสดงให้เห็นว่า มีความแตกต่างอย่างเป็นระบบระหว่างการคำนวณและสังเกต ข้อผิดพลาดที่ระบบควรจะเกี่ยวกับขั้นตอนการสแกนท้องฟ้า ดาวเทียม Hipparcos พิกัดที่ได้รับการเสนอให้คำนึงถึงระบบข้อผิดพลาด 6558 stars ได้รับพบว่ามีมาตรฐานการวัดความเข้มแสงความแม่นยำสูงที่เหมาะสม

B. CALVO, S. CELMA, P. A. MARTÍNEZ AND M. T. SANZ [9] ได้ทำการศึกษาเรื่อง High-Speed High-Precision CMOS Current Conveyor ในงานวิจัยนี้ได้มีการนำเสนอสายพานลำเลียงรุ่นที่สองรุ่น CMOS รุ่นใหม่ CMOS (CCII) แบบใหม่ตามรูปแบบใหม่ ผลการจำลองแบบ post-layout จากการออกแบบ $0.8 \mu\text{m}$ ที่ 3.3 V แสดงความต้านทานต่ำที่โหนด X (< 50), การใช้งานความถี่สูง ($\sim 100 \text{ MHz}$), ความแม่นยำสูงในการรับแรงดันไฟฟ้าและการเปลี่ยนกระแสและขดเชยที่ลดลง ในฐานะตัวอย่างของโปรแกรมประยุกต์ตัวแปลง $V-I$ และตัวประมวลผลข้อเสนอแนะปัจจุบัน (CFOA) ได้ถูกใช้งานแล้ว ช่วงหลังมีอัตราการใช้สูงเกินกว่า $\pm 100 \text{ V} / \mu\text{s}$

E. Yu. Slobodyanik [10] ได้ทำการศึกษาเรื่อง METHOD OF CONSTRUCTING A HIGH-PRECISION TWO-CIRCUIT ANGLE MEASURING SYSTEM BASED ON THE COMBINATION OF ESTIMATES ได้นำเสนอวิธีการในการสร้างระบบ two-circuit measuring ซึ่งเทียบเท่ากับระบบ a combined automatic วิธีนี้ทำให้สามารถเพิ่มความถูกต้องของการวัดด้วยการรวมค่าประมาณและสามารถหาโปรแกรมประยุกต์ที่หลากหลายในระบบอิเล็กทรอนิกส์เพื่อวัดพิกัดเชิงมุม measuring the angular coordinates ของยานอวกาศ

Reinhard A. Gahbauer' [11] ได้ทำการศึกษาเรื่อง A Challenge for High-Precision Radiation Therapy: The Case for Photons ความสะดวกของ Hadron นำไปสู่ความก้าวหน้าด้านเทคนิคและแนวความคิดที่สำคัญในการตรึงรูปการทำซ้ำการวางแผนและการดำเนินการรักษา บางส่วนของการพัฒนาเหล่านี้มีผลกระทบสำคัญต่อการรักษาแบบเดิมซึ่งขณะนี้สามารถใช้ประโยชน์จากการ จำกัด ปริมาณของโปรตอนในสถานการณ์ทางคลินิกส่วนใหญ่ได้ ในขณะที่ข้อดีทางชีวภาพของนิวตรอนในที่สุดอาจถูกนำมา รวมกับการใช้งานที่ดีเยี่ยมในการใช้งาน Heavy Ion Facilities วิธีการรักษาที่ทันสมัยหรือเป็นระบบจะช่วยลดข้อดีของ LET การทดลองทางคลินิกยังคงต้องกำหนดประโยชน์ที่เกี่ยวข้องของวิธีการเหล่านี้ในการกระตุ้นที่ทันสมัยที่สุดของพวกเขา ช่องว่างด้านความได้เปรียบได้ลดลงอย่างมากโดยการพัฒนาล่าสุดในการรักษาแบบเดิม

Zhenghong Zhu, Qian Jiang [12] ได้ทำการศึกษาเรื่อง Research on Precision and Ultra-precision Machining Technology Development การวิเคราะห์ความแม่นยำและการใช้เครื่องจักรที่มีความแม่นยำสูงในสภาพที่เป็นอยู่การวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนา new materials, new technology, machine tools และด้านอื่น ๆ กล่าวว่าจีนควรใช้มาตรฐานเพียงเล็กน้อยคิดเกี่ยวกับการพัฒนาในอนาคต

K. BLAUM, D. BECK, G. BOLLEN, P. DELAHAYE, C. GUE'NAUT, F. HERFURTH, A. KELLERBAUER, H.-J. KLUGE, U. KO'STER, D. LUNNEY, S. SCHWARZ, L. SCHWEIKHARD and C. YAZIDJIAN [13] ได้ทำการศึกษาเรื่อง Laser Ionization and Penning Trap Mass Spectrometry – A Fruitful Combination for Isomer Separation and High-precision Mass Measurements โดยระหว่าง Laser Ionization และ Penning Trap Mass แสดงให้เห็นเป็นครั้งแรกว่าการเลือกใช้ไอออนไนเซอร์ด้วยเลเซอร์ element-selective laser ionization แบบผสมผสานร่วมกับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์มวลสูง ultra-high resolution mass spectrometry ที่มีความละเอียดสูงสามารถนำมาใช้เพื่อเตรียมไอออนของไอโซโทปบริสุทธิ์ได้ ร่วมกับ β - γ บังเอิญศึกษาวิธีนี้อ่อนนุ่มทำให้การกำหนดโครงสร้างพลังงานต่ำและระบุชัดเจนของสาม isomerism β -decaying ใน ^{70}Cu จากการตรวจวัดไอออนไนเซอร์แบบเรโซแนนซ์และการวัดมวลของทั้งสามรัฐโดยใช้ ISOLTRAP ที่ ISOLDE / CERN ที่มีความไม่แน่นอนของ $\delta m / m$ 5×10^{-8} การกำหนดสถานะสัณฐานเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพทำให้ปริศนาการกำหนดใน ^{70}Cu

J. Liu • D.A. Sergatskov • R.V. Duncan [14] ได้ทำการศึกษาเรื่อง Noise Immunity of High-Precision Low-Temperature Experiments การทดลองที่อุณหภูมิต่ำมีความแม่นยำสูง high-precision low-temperature เราพิจารณาปัญหาในการวัดข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆโดยมีเสียงสีขาวและเสียงแหลมสั้น ๆ ตัวกรอง Kalman filter ถูกใช้เพื่อลดสัญญาณรบกวน noise สีขาวและใช้ algorithm การตรวจจับการขัดจังหวะเพื่อขจัดตะกอนที่เกิดจากอนุภาคประจุไฟฟ้า ข้อมูลการทดลองแสดงให้เห็นว่าด้วยตัวกรอง Kalman filter ค่า RMS ของการวัดค่าเสียงในแบนด์วิดท์ 0.5 Hz จะลดลงจาก 4 nK ถึง 0.2 nK ในกรณีที่ดีที่สุด อัลกอริธึมการตรวจจับขัดขวางแบบเรียบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อขจัดความแหลมโดยไม่เพิ่มระดับเสียงรบกวน

F. Ponce, M. H. Carpenter, R. Cantor, S. [15] Superconducting Tunnel Junctions for High-Precision EUV Spectroscopy ลักษณะการตอบสนอง photon ของอุโมงค์ junctions superconducting ในช่วง ultraviolet energy range ต่ำกว่า 100 eV กับ a pulsed 355 นาโนเมตรเครื่องตรวจจับทำงานในอัตราที่สูงถึง 5000 ครั้ง / วินาทีซึ่งมีพลังงานเชิงเส้นมากและมีความละเอียดพลังงานระหว่าง 0.9 ถึง 2 eV เราสังเกตยอดหลายแห่งที่สอดคล้องกับจำนวน photon ที่มีการกระจายความน่าจะเป็น Poissonian และสามารถใช้ในการสอบเทียบพลังงานที่มีความแม่นยำสูง ความไม่แน่นอนของ centroid ขึ้นอยู่กับความละเอียดของเครื่องตรวจจับและสถิติการนับและอาจมีค่าต่ำสุดเท่ากับ

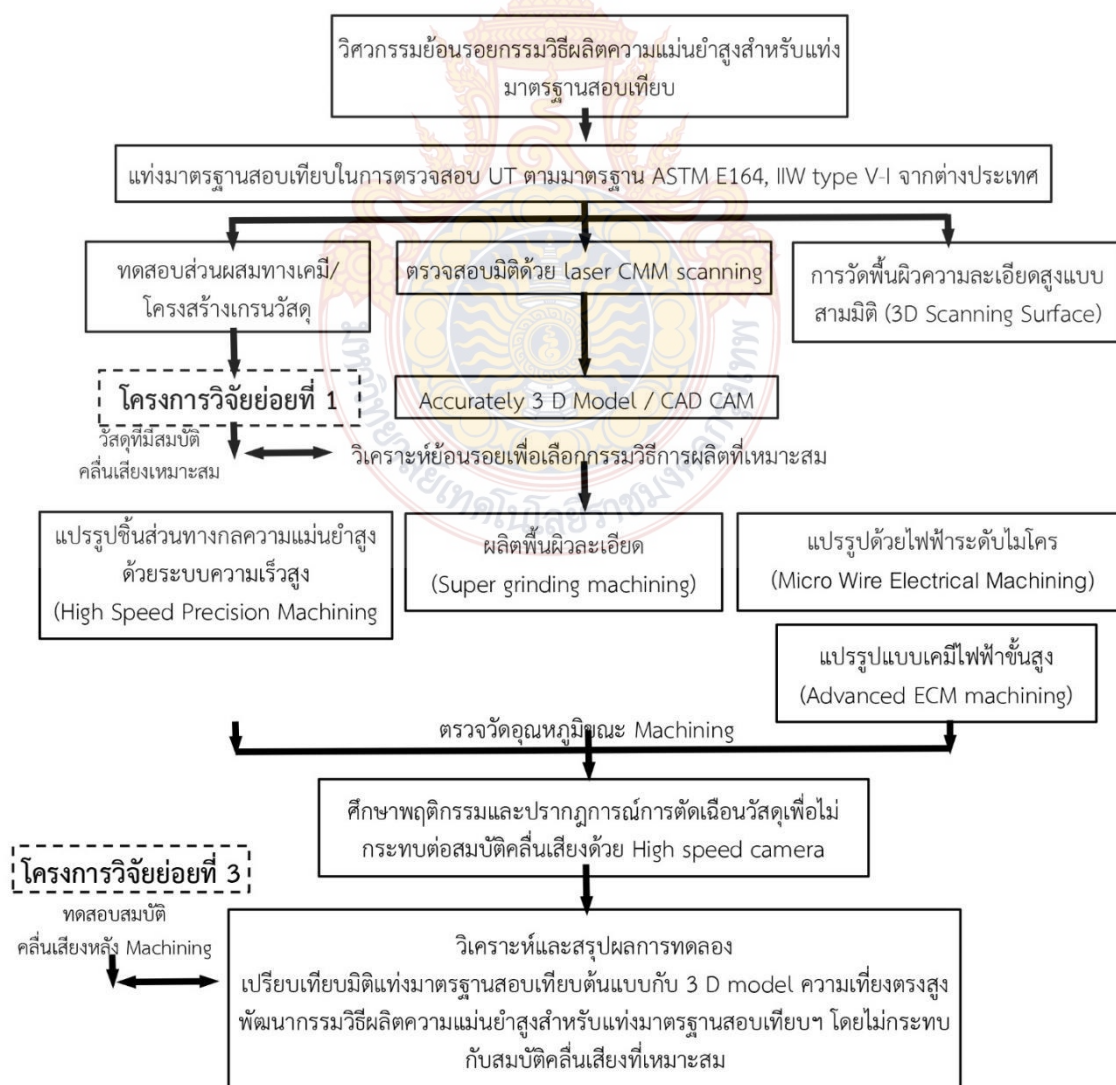
1 me V for well-separated peaks with $>10^5$ counts ความแม่นยำของ peak centroid ในรูปของ
ความละเอียดของเครื่องตรวจจับและจำนวนการนับรวมทั้งความถูกต้องของการสอบเทียบพลังงาน



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานทดลองงานวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิศวกรรมย้อนรอยกรรมวิธีผลิตความแม่นยำสูงสำหรับแท่งมาตรฐานสอบเทียบในการตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูง เพื่อเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ โดยเริ่มจากการศึกษาศึกษากรรมวิธีผลิตความแม่นยำสูงสำหรับแท่งมาตรฐานสอบเทียบต้นแบบในการตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูง ด้วยวิศวกรรมย้อนรอย และทำการออกแบบแท่งมาตรฐานสอบเทียบต้นแบบ เพื่อผลิตแท่งมาตรฐานสอบเทียบในการตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูงตามมาตรฐาน ASTM E164 โดยใช้วัสดุ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (เกรด SS400), ที่ไม่ผ่านกรรมวิธีการอบชุบมาผลิตแท่งสอบเทียบมาตรฐาน ภายใต้อนุรักษ์ตามมาตรฐาน ASTM E164 โดยมีขั้นตอนแนวคิดของการวิจัยดังรูปที่ 1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนแนวคิดของโครงการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ในการวิจัย

3.1.1 วัสดุทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (เกรด SS400) นำมาผลิตความแม่นยำสูงสำหรับแท่งมาตรฐานสอบเทียบในการตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูงโดยมีผลตรวจสอบการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี (Chemical composition analysis) แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนัก %)

Materials	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Fe
SS400	0.222	0.240	0.435	0.013	0.009	-	-	Bal.

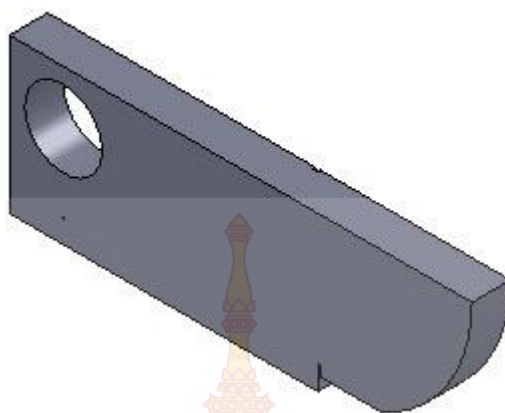
3.1.2 ขั้นตอนการทำวิศวกรรมย้อนรอยของแท่งมาตรฐานสอบเทียบ IIW type V-I ในการตรวจสอบ UT จากชิ้นส่วนที่นำเข้าจากต่างประเทศเพื่อศึกษาคุณลักษณะโครงสร้างจุลภาคของแท่งมาตรฐานสอบเทียบหลากหลายจาก สถานประกอบการเอกชน สถาบันวิจัย สถาบันการศึกษาต่างๆ แสดงดังรูปที่ 3.2 ด้วยกรรมวิธีเทคนิค Repica หรือ Replication โดยทำการขัดกระดาษทรายตั้งแต่เบอร์ 80-2500 แสดงดังรูปที่ หลังจากนั้นทำการขัดมันโดยใช้ผ้าสักหลาด และผงเพชรช่วยในการขัดมันขนาด 3 ไมโครเมตร และ 1 ไมโครเมตร จากนั้นทำการกัดกรดบนผิววัสดุผิวชิ้นงานด้วยไนตรอล 5 % เพื่อให้ปรากฏโครงสร้างขึ้นลาย จากนั้นทำการใช้ แผ่น Replica file เพื่อลอกลายโครงสร้าง จากนั้นใช้กล้อง Portablemicroscope ทำการเก็บภาพถ่ายโดยแสดงขั้นตอนการทดสอบดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทดสอบด้วยเทคนิค Replication

3.1.3 การวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี ด้วยวิธีการ X-Ray Fluorescence (XRF)

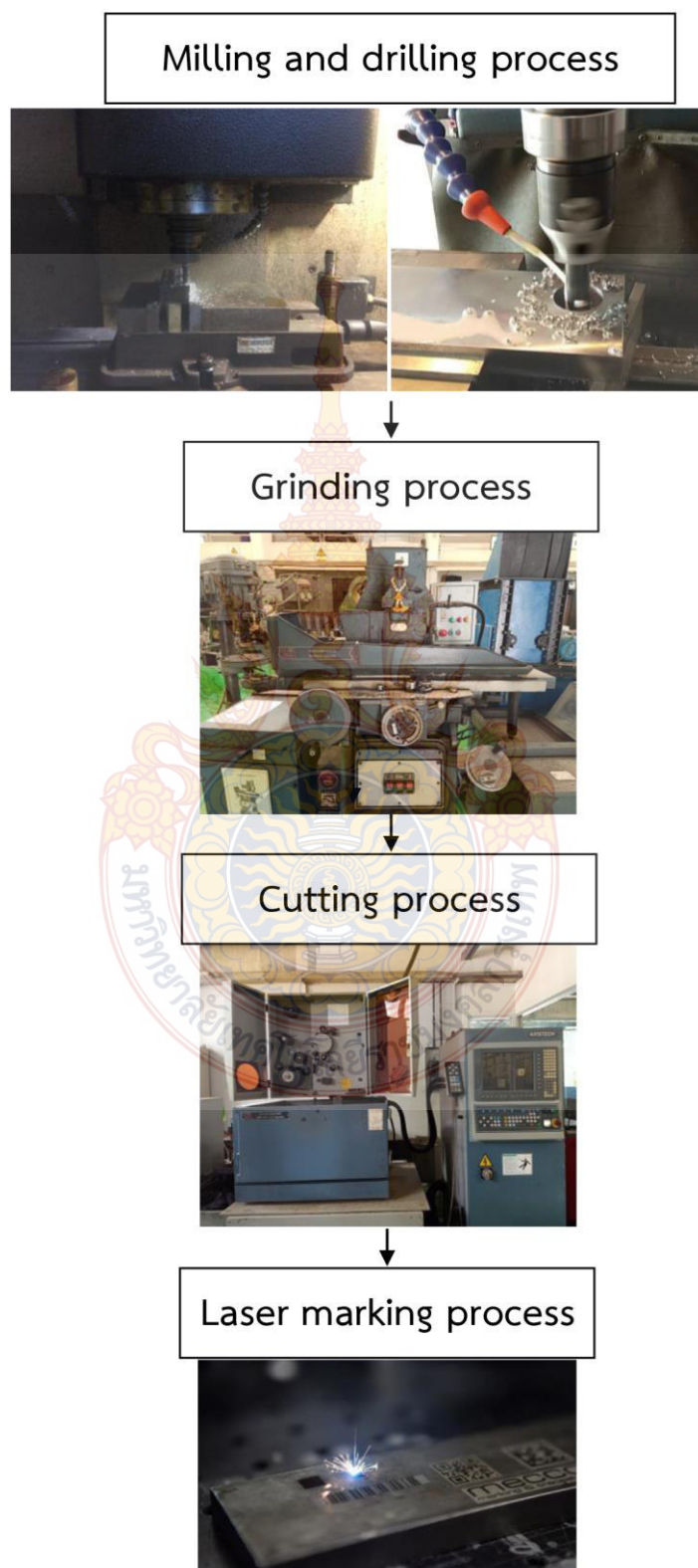
ในรูปที่ 3.3 เป็นขั้นตอนการทำวิศวกรรมย้อนรอยเพื่อตรวจสอบดูส่วนผสมทางเคมีของแท่งมาตรฐานสอบเทียบ IIW type V-I โดยการใช้เครื่อง Positive Material Identification (PMI) สำหรับการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุด้วยวิธีการ X-Ray Fluorescence (XRF) ซึ่งในการทำการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของแท่งสอบเทียบมาตรฐาน (Calibration Block V1) จะต้องทำการเตรียมผิวให้สะอาดก่อนทำการตรวจสอบบนผิวของแท่งสอบเทียบมาตรฐาน หลังจากการตรวจสอบเครื่อง Positive Material Identification (PMI) จะระบุส่วนผสมทางเคมีและสัดส่วนต่างๆของแท่งสอบเทียบมาตรฐานขึ้นมา ทำการบันทึกค่าได้ภายหลังการตรวจสอบ



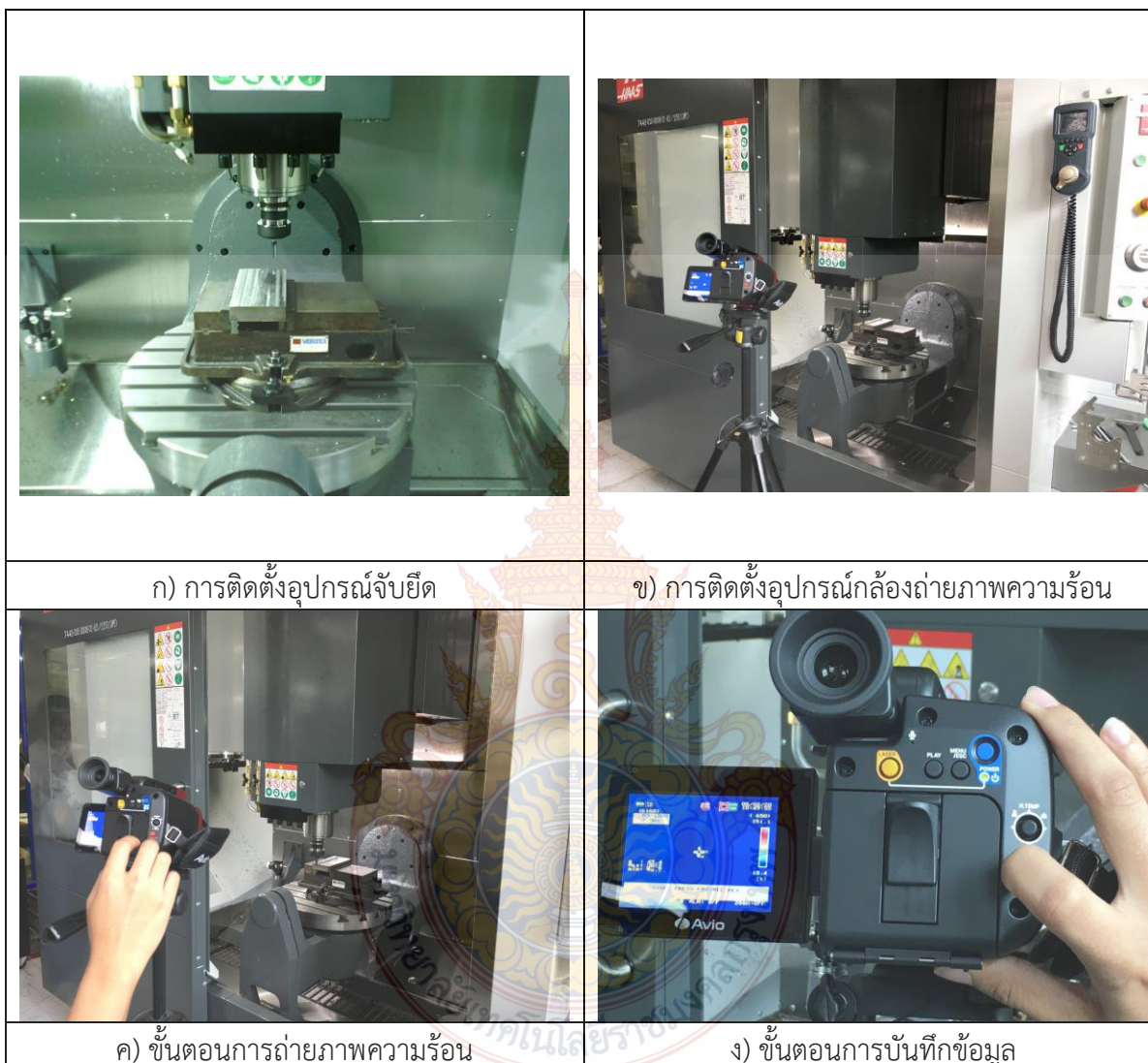
รูปที่ 3.5 ภาพ 3D model แท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ

3.3 ขั้นตอนการผลิตแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ

ในขั้นตอนการผลิตแท่งมาตรฐาน IIW type V-I มีขั้นตอนต่อไปนี้ ดังรูปที่ 3.6 โดยเริ่มต้นทำการกัดเตรียมผิวและเจาะรู จากนั้นทำการเจียรผิว ทำการตัดให้ได้ขนาดด้วยเครื่อง Wire cut ให้ขนาดตามที่กำหนดตามแบบที่เขียนกำหนดไว้ตามมาตรฐาน ASTM E164 ดังรูปที่ 3.4 จากนั้นทำการ Laser Marking Machine เป็นการแกะสลักด้วยการใช้หัวเลเซอร์ยิง โดยการใช้แรงดันลม และยิงลงไปที่ยิงงานเพื่อให้ตัวอักษรบนชิ้นงาน ขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดผิวชิ้นงาน อย่างไรก็ตามในขั้นตอนของการกัดชิ้นงานของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบที่ผลิตขึ้น จะใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนรุ่น Thermo Gear R550Pro -D เพื่อศึกษาอุณหภูมิการขึ้นรูปแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบที่ 3.7 ก) และ ข)



รูปที่ 3.6 ขั้นตอนกระบวนการผลิตแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ



รูปที่ 3.7 การใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนเพื่อศึกษาอุณหภูมิการขึ้นรูปแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ

3.4 ขั้นตอนการวัดความละเอียดสูงแบบ 3D Scanning surface

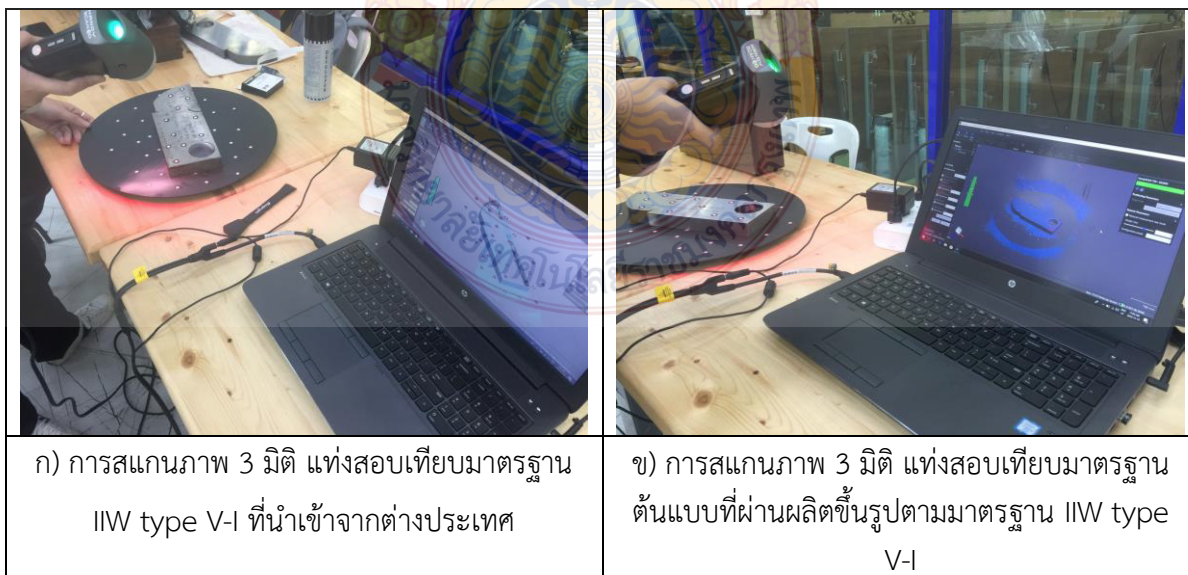
ในขั้นตอนนี้เป็นการวัดความเรียบผิวของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบที่ผ่านผลิตขึ้นรูปตามมาตรฐาน IIW type V-I เพื่อเปรียบเทียบพื้นผิวกับแท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIW type V-I ที่นำเข้าจากต่างประเทศ โดยใช้เครื่อง 3D Measuring Laser Microscope แสดงดังรูปที่ 3.8 ทำการวัดความเรียบผิวเพื่อศึกษาความแตกต่างของพื้นทั้งสองแท่งมาตรฐาน



รูปที่ 3.8 เครื่องวัดความละเอียดสูงแบบ 3D Measuring Laser Microscope

3.5 ขั้นตอนการสแกนภาพ 3 มิติ

รูปที่ 3.9 ก) แสดงการสแกนภาพ 3 มิติ แท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIW type V-I ที่นำเข้าจากต่างประเทศ โดยใช้เครื่อง Handy SCAN 3D Laser Scanners และรูปที่ 3.9 ข) แสดงการสแกนภาพ 3 มิติ แท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบผ่านผลิตขึ้นรูปตามมาตรฐาน IIW type V-I จากนั้นทำการรวมข้อมูลเพื่อตรวจสอบความสมมาตร



รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการการสแกนภาพ 3 มิติ

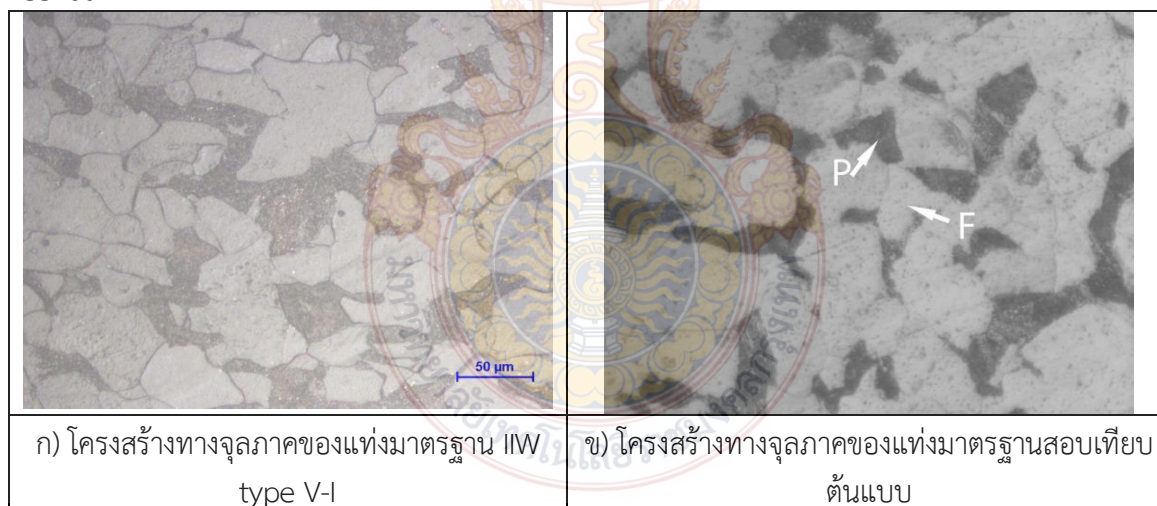
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์งานวิจัย

4.1 ผลการตรวจสอบวิศวกรรมย้อนรอยของแท่งมาตรฐานสอบเทียบต้นแบบ

4.1.1 ผลการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาค

จากผลการตรวจสอบทางโครงสร้างจุลภาคของแท่งมาตรฐาน IIW type V-I ดังรูปที่ 4.1 (ก) กับแท่งมาตรฐานต้นแบบแสดงรูปที่ 4.1 (ข) พบว่า ลักษณะของโครงสร้างทางจุลภาคทั้งสองวัสดุมีความใกล้เคียงกันเมื่อเปรียบเทียบจากภาพถ่ายจะปรากฏเป็นเฟส Ferrite (บริเวณพื้นที่สีขาว) กับ Pearlite (บริเวณพื้นที่สีดำ) นอกจากนั้นยังมีเส้นสีดำล้อมรอบขอบเกรนทั้งเฟส Ferrite และ Pearlite อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาปริมาณพื้นที่ในรูปที่ 4.1 (ก) และ(ข) พบว่าเฟส Ferriteจะมีการกระจายปริมาณมากกว่าเฟส Pearlite ดังนั้นเมื่อทำการวิศวกรรมย้อนรอยของแท่งมาตรฐาน IIW type V-I มีความใกล้เคียงเคียงกับวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400



รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบโครงสร้างทางจุลภาคของแท่งมาตรฐาน IIW type V-I กับแท่งมาตรฐานสอบเทียบต้นแบบ

4.1.2 ผลการตรวจสอบวิศวกรรมย้อนรอยส่วนผสมทางเคมีของแท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIW type V-I ที่นำเข้าจากต่างประเทศ

ผลจากการวิศวกรรมย้อนรอยวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของแท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIW type V-I แสดงดังตารางที่ 4.1 พบว่า มีส่วนผสมของธาตุหลักประกอบไปด้วย คาร์บอน (C) ซิลิกอน (Si) แมงกานีส (Mn) ฟอสฟอรัส (P) ซัลเฟอร์ (S) และ เหล็ก (Fe) ซึ่งหากพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ของธาตุคาร์บอนพบว่ามีจำนวนปริมาณส่วนผสมค่อนข้างต่ำ อยู่ประมาณ 0.0950 % บ่งชี้ได้ว่าเป็นวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ และเมื่อนำผลไปเปรียบเทียบกับวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 พบว่ามีปริมาณของคาร์บอนใกล้เคียงกันและจัดอยู่ในกลุ่มของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

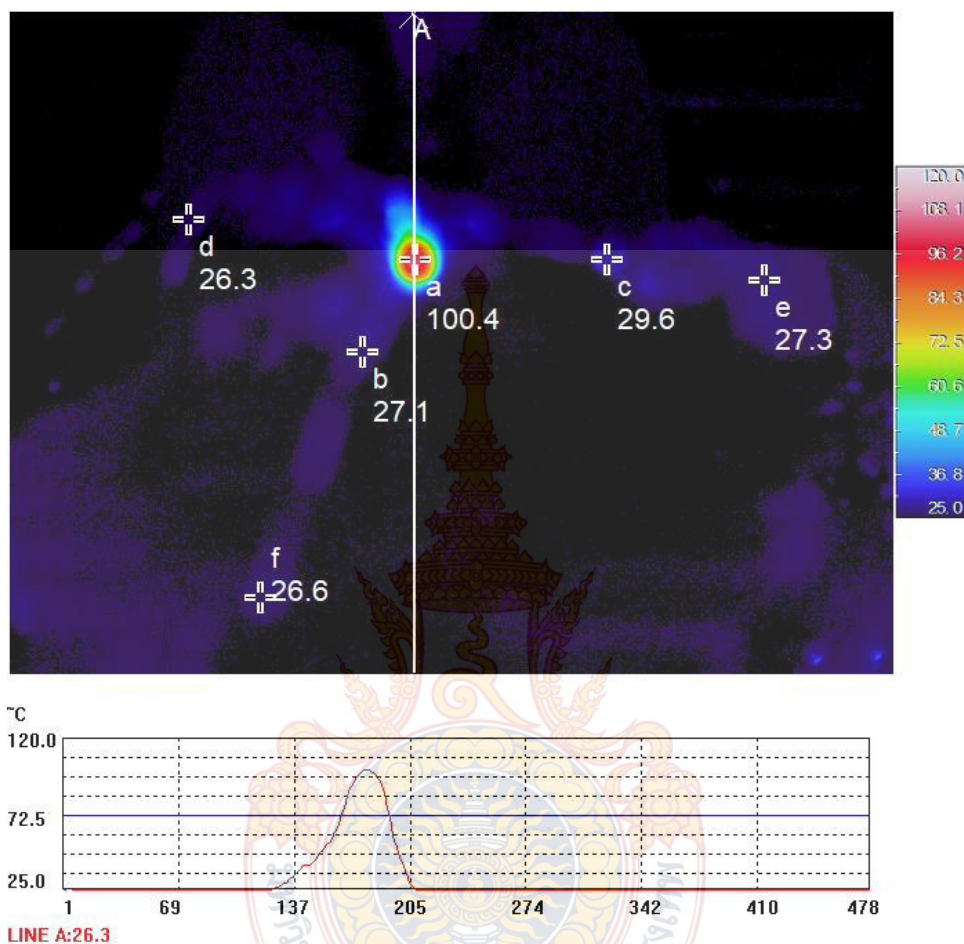
ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบโลหะส่วนผสมทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนัก %)

Materials	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Fe
แท่งสอบเทียบ								
มาตรฐาน IIW	0.0950	0.210	0.740	0.0250	0.0170	0.0780	0.0270	98.70
type V-I								
SS400	0.2226	0.2409	0.4351	0.0133	0.0090	0.3791	0.0501	98.56

4.2 อิทธิพลของตัวแปรในการผลิตชิ้นรูปผลิตแท่งมาตรฐานสอบเทียบ

4.2.1 ศึกษาพฤติกรรมภาพถ่ายความร้อน

ในรูปที่ 4.2 แสดงภาพถ่ายความร้อนในการขึ้นรูปแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบที่ความเร็วรอบคงที่ 500 rev./min ที่อัตราการป้อน 100 m/min โดยใช้ขนาดภาพถ่ายความร้อน คือ 640x480 พิกเซล และใช้ค่า Emissivity อยู่ 0.7 ϵ และระยะห่างระหว่างกล้องถ่ายภาพความร้อนกับชิ้นงานมีระยะห่างอยู่ประมาณ 1 m โดยทำมุมในการถ่ายภาพความร้อนที่ 45 °C จากการศึกษาพฤติกรรมความร้อนในขณะทำการขึ้นรูปแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ พบว่า อุณหภูมิของดอกกัดขึ้นงานต้นแบบมีอุณหภูมิความร้อนประมาณ 100.4 °C แสดงดังจุด a ดังในรูปที่ 4.2 ซึ่งเป็นจุดที่ถูกตรวจวัดอุณหภูมิสูงที่สุด ในขณะที่เส้นตรง A คือการลากผ่านพื้นที่อุณหภูมิการแผ่ความร้อนของดอกกัดพบว่า มีอุณหภูมิประมาณ 100 °C แสดงดังรูปที่ 4.2 ในกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับพิกเซล นอกจากนั้นแล้วยังมีอุณหภูมิของเศษคมตัดเฉือนที่กระเด็นออกมาโดยรอบระหว่างทำการกัดขึ้นรูปซึ่งในภาพถ่ายความร้อนจะมีลักษณะคล้ายเงาสว่างดังรูปที่ 4.2 แต่อุณหภูมิความร้อนยังไม่สูงมากนักโดยมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 26-30 °C แสดงดัง ณ ตำแหน่ง b, c, d, e, และ f



รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายความร้อนในการขึ้นรูปแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ

4.2.2 Machining parameters

จากรูปที่ 4.3 แสดงเศษคมตัดเฉือนที่ผ่านการกัดของวัสดุเหล็กกล้าเกรด SS400 ที่ผลิตขึ้นรูปเป็นแท่งมาตรฐานต้นแบบโดยมีระดับอัตราการป้อน (feeds) ของการกัดที่ต่างกัน 3 ระดับ คือ 60, 80 และ 100 m/min และมีความเร็วรอบคงที่ 500 rev./min พบว่า การใช้ระดับอัตราของการป้อนกัดชิ้นงานที่ต่ำ ลักษณะของเศษกัดจะมีลักษณะเป็นแบบหยาบและมีขนาดของเศษคมตัดเฉือนขนาดใหญ่ และรูปทรงค่อนข้างตรงแสดงดังรูปที่ 4.3 ก) ในขณะที่การใช้ระดับการป้อนกัดที่ความเร็ว 80 m/min พบว่า เศษคมตัดเฉือนมีลักษณะเงามันวาวและรูปร่างโค้งงอแสดงดังรูปที่ 4.3 ข) นอกจากนั้นการกัดชิ้นงานที่ระดับความเร็วเดินกัดของการกัดที่ 100 m/min ผลปรากฏว่า เศษคมตัดเฉือนมีลักษณะของเศษคมตัดเฉือนมีขนาดรูปร่างเล็กละเอียดแสดงดังรูปที่ 4.3 ค)

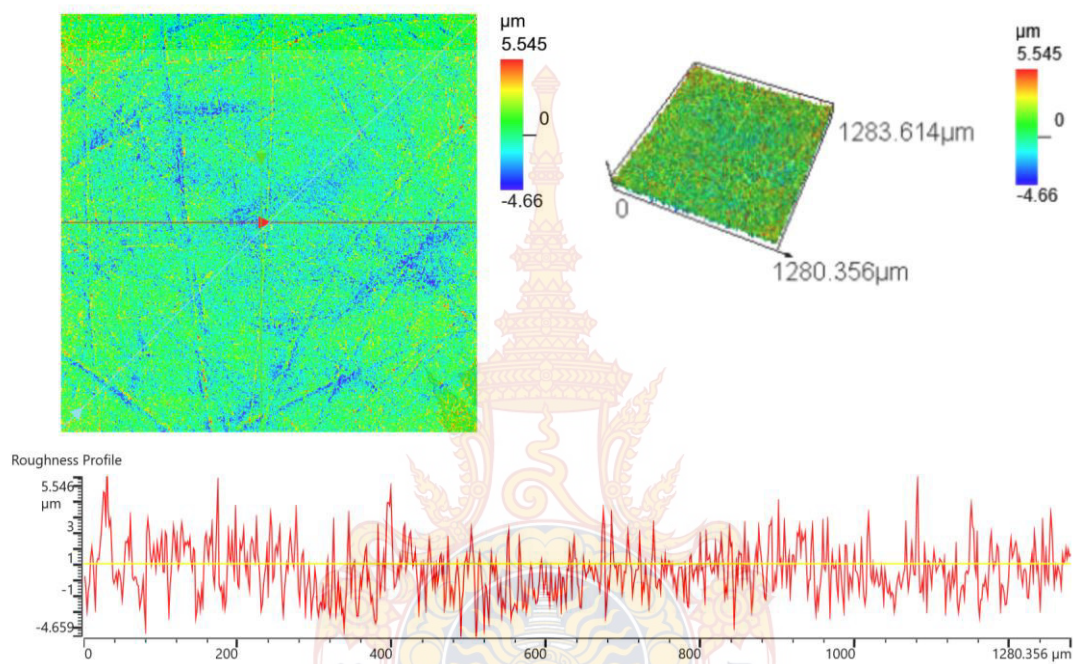


รูปที่ 4.3 เศษคมตัดเฉือนของวัสดุ SS400 แห่งมาตรฐานสอบเทียบต้นแบบ

4.2.3 Machining parameters

จากรูปที่ 4.4 แสดงผลการตรวจสอบความเรียบผิวของแท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIW type V-I ที่นำเข้าจากต่างประเทศ โดยพื้นที่ที่ทำการตรวจสอบมีขนาดความกว้าง 1280.356 μm ความยาว 1283.614 μm และทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง ผลการตรวจสอบพบว่า ค่าเฉลี่ยของความเรียบผิวของแท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIW type V-I ที่นำเข้าจากต่างประเทศ มีค่าความเรียบผิวอยู่ที่ 1.173 μm จากนั้นทำการวัดตรวจสอบความเรียบผิวของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ พบว่าลักษณะรูปร่างของกราฟความเรียบผิว

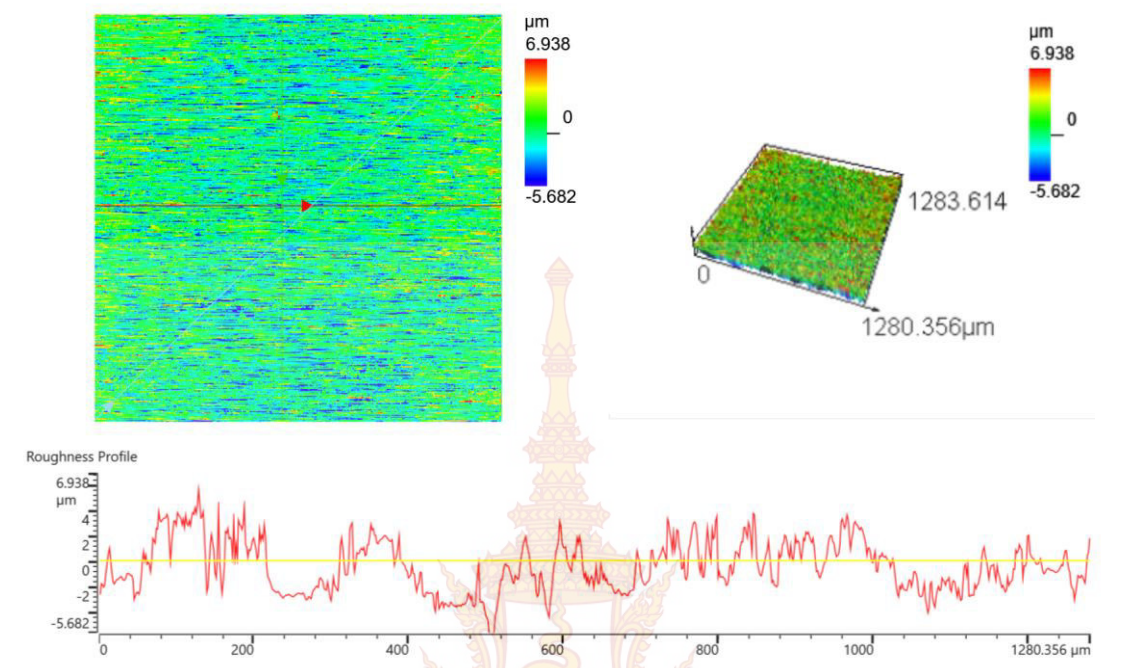
ของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบมีลักษณะเป็นหลุมลึกโค้งมลซึ่งแตกต่างกับความเรียบผิวของแท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIW type V-I มีลักษณะ



รูปที่ 4.4 ความเรียบผิวแท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIW type V-I ที่นำเข้าจากต่างประเทศ

ตารางที่ 4.2 ค่าความเรียบผิวของแท่งสอบเทียบมาตรฐานจากต่างประเทศ

ครั้งที่	ค่าความเรียบผิวของแท่งสอบเทียบมาตรฐานจากต่างประเทศ [Ra(μm)]
1	1.229
2	1.126
3	1.165
เฉลี่ย	1.173



รูปที่ 4.5 ความเรียบผิวแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ

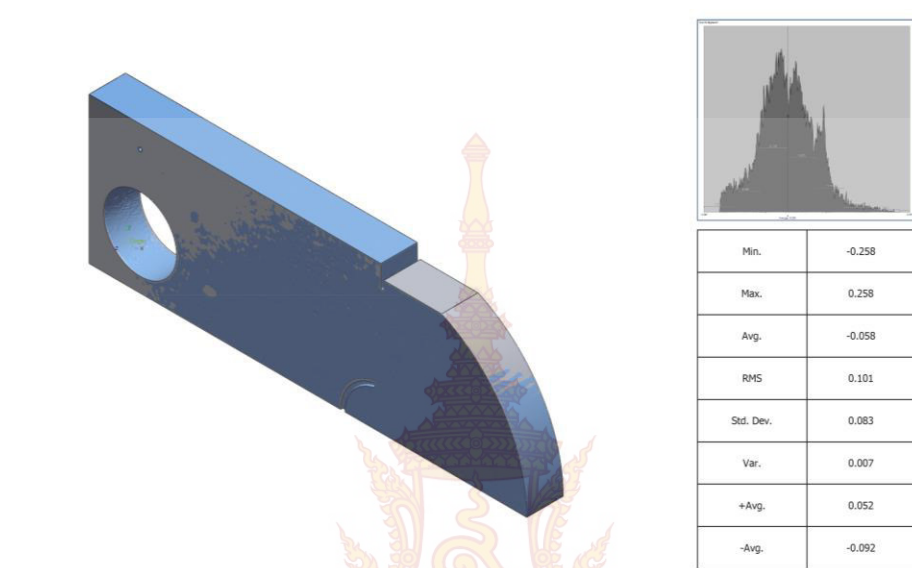
ตารางที่ 4.3 ค่าความเรียบผิวของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ

ครั้งที่	ค่าความเรียบผิวของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ [Ra(μm)]
1	1.654
2	1.583
3	1.664
เฉลี่ย	1.634

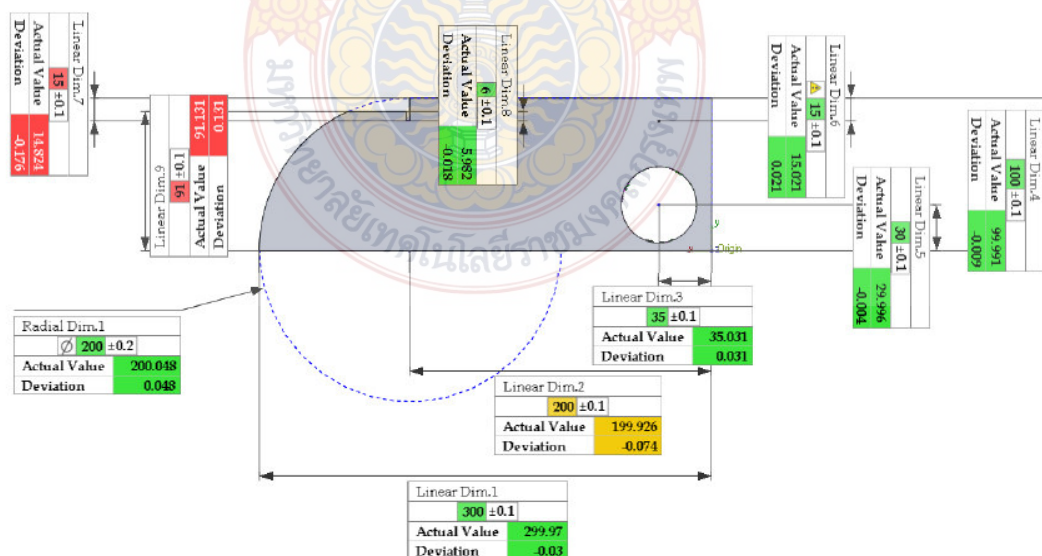
4.3 ผลการเปรียบเทียบ 3D Scan ระหว่างแท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIW TYPE V1 กับชิ้นงานต้นแบบ

จากผลการเปรียบเทียบมิติรูปร่าง และความสมมาตรของแท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIW TYPE V1 กับชิ้นงานต้นแบบแสดงดังรูปที่ 4.6 พบว่ามีความสมมาตรเข้ากันได้ดีระหว่างแท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIW TYPE V1 กับชิ้นงานต้นแบบ ในขณะที่รูป 4.7 ก) คือแสดงตำแหน่งการทำ 3D Scan ด้านหน้าของแท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIW TYPE V1 กับชิ้นงานต้นแบบซึ่งจะทำวัดขนาดแต่ละจุดโดยอ้างอิงขนาดตามมาตรฐาน ASTM E164 เพื่อมาทำการเปรียบเทียบความสมมาตรของทั้งสองแท่งสอบเทียบ ผลการทำ 3D Scan ทั้ง 9 ตำแหน่งของการวัด พบว่า มี 2 ตำแหน่งที่เป็นสีแดงมีค่าเกินพิกัดความเผื่อตามมาตรฐาน ASTM E164 ส่วน 1 ตำแหน่งที่เป็นสีเหลืองเป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์ที่รับได้ และ 7 จุดที่เป็นสีเขียวมีค่าตรงตามมาตรฐาน ASTM E164 จากนั้นทำรวมมิติรูปร่างของชิ้นงานระหว่างแท่งสอบเทียบมาตรฐานจากต่างประเทศกับแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบเข้าด้วยกันแสดงดังรูปที่ 4.7 ข) และรูปที่ 4.7 ค) เป็นกราฟเปรียบเทียบขนาดแต่ละตำแหน่งของการวัดพบว่ามี 3 ตำแหน่งที่เป็นสีแดงคือ ณ ตำแหน่ง ที่ 7, 8 และ 9 มีค่าเกินพิกัดความเผื่อตาม

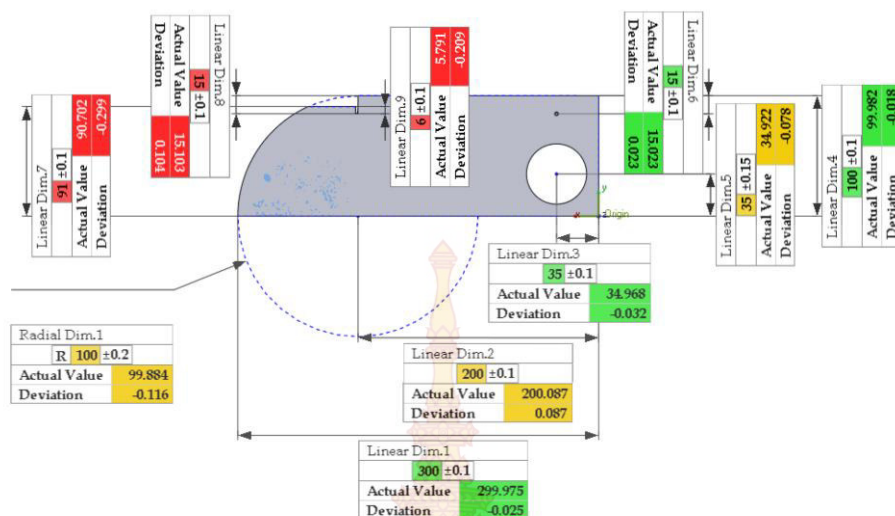
มาตรฐาน ASTM E164 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับดูจากกราฟพบว่ามีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย ส่วน 3 จุดที่เป็นสีเหลืองเป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์ที่รับได้ คือ ณ ตำแหน่ง 1, 2 และ 5 อีก 4 จุดที่เป็นสีเขียวมีค่าตรงตามมาตรฐาน ASTM E164



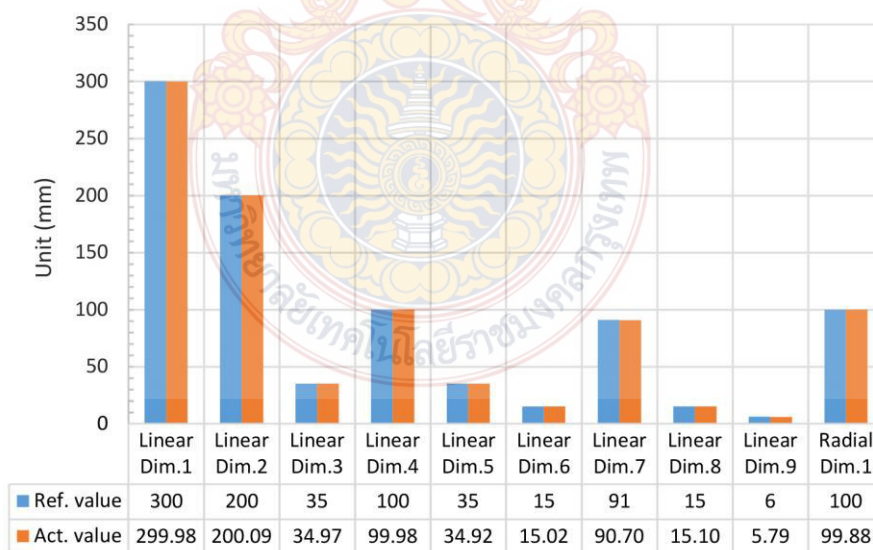
รูปที่ 4.6 กราฟผลการเปรียบเทียบมิติรูปร่าง และความสมมาตร



ก) ตำแหน่งการวัดเปรียบเทียบด้านหน้าแห่งสอบเทียบมาตรฐานจากต่างประเทศ

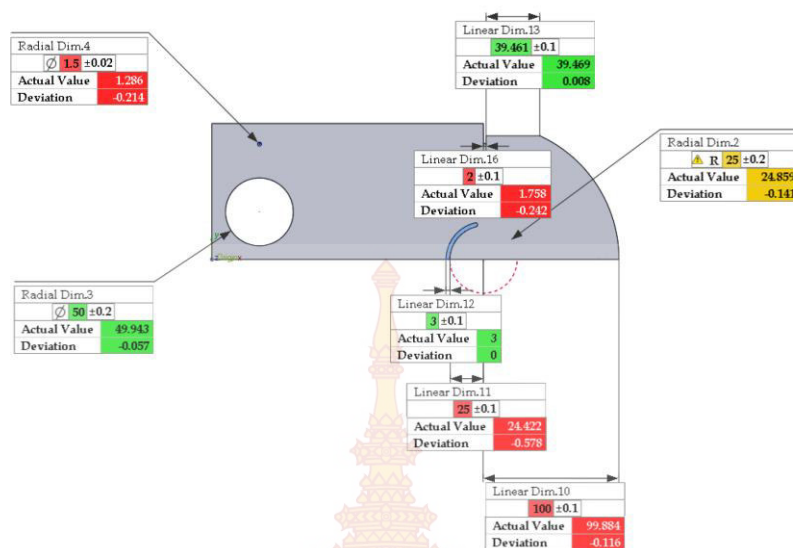


ข) ตำแหน่งการวัดเปรียบเทียบด้านหน้า และการรวมชิ้นงานระหว่างแท่งสอบเทียบมาตรฐานจากต่างประเทศกับแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ

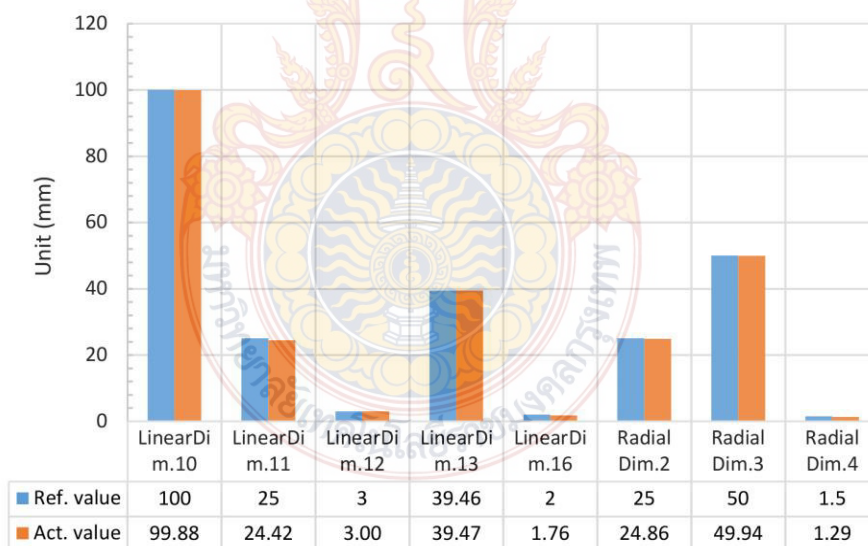


ค) กราฟเปรียบเทียบขนาดแต่ละตำแหน่งของการวัด

รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบขนาดด้านหน้าระหว่างแท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIV TYPE V1 กับชิ้นงานต้นแบบ



ก) ตำแหน่งการวัดเปรียบเทียบด้านหลัง



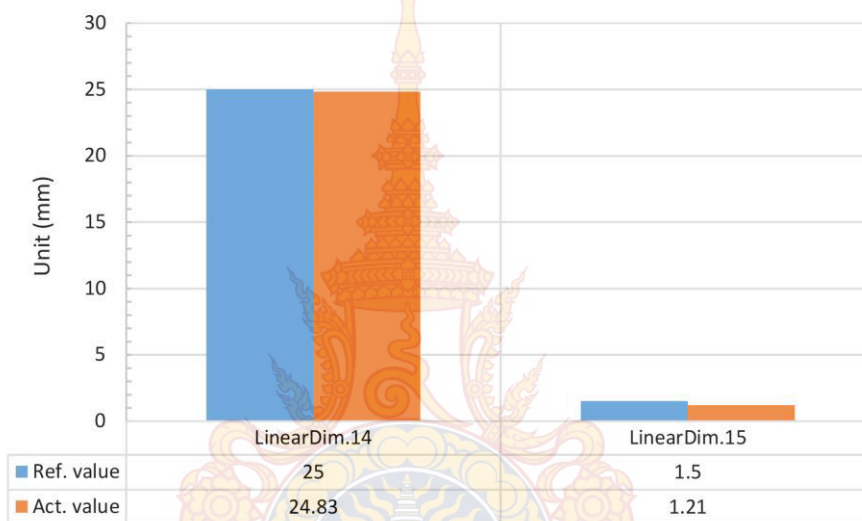
ข) กราฟเปรียบเทียบขนาดแต่ละตำแหน่งของการวัดด้านหลัง

รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบขนาดด้านหลังระหว่างแท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIW TYPE V1 กับชิ้นงานต้นแบบ

จากรูปที่ 4.8 ก) ตำแหน่งการวัดเปรียบเทียบด้านหลัง และการรวมชิ้นงานระหว่างแท่งสอบเทียบมาตรฐานจากต่างประเทศกับแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ พบว่ามี 4 ตำแหน่งที่เป็นสีแดงมีค่าเกินพิสัยความเผื่อตามมาตรฐาน ASTM E164 คือ ตำแหน่งที่ 4, 10, 11 กับ 16 และมี 1 ตำแหน่งที่เป็นสีเขียวเป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์ที่รับได้ในขณะที่ 3 จุดที่เป็นสีเขียวมีค่าตรงตามมาตรฐาน ASTM E164 โดยแสดงค่าการวัดเปรียบเทียบดังรูปที่ 4.8 ข) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากกราฟพบว่ามีค่าแตกต่างกันค่อนข้างเล็กน้อยซึ่งขนาดชิ้นงานของแท่งสอบเทียบต้นแบบต่ำกว่าขนาดของแท่งสอบเทียบมาตรฐานนำเข้าจากต่างประเทศ



ก) ตำแหน่งการวัดเปรียบเทียบด้านล่าง



ข) กราฟเปรียบเทียบขนาดแต่ละตำแหน่งของการวัดด้านล่าง

รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบขนาดด้านล่างระหว่างแท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIW TYPE V1 กับชิ้นงานต้นแบบ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาวิศวกรรมย้อนรอยกรรมวิธีผลิตความแม่นยำสูงสำหรับแท่งมาตรฐานสอบเทียบในการตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูงซึ่งมีวัตถุประสงค์ของการวิจัยคือศึกษากรรมวิธีผลิตความแม่นยำสูงสำหรับแท่งมาตรฐานสอบเทียบต้นแบบในการตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูงและสามารถผลิตแท่งมาตรฐานสอบเทียบในการตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูงตามมาตรฐาน ASTM E164 โดยได้นำวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 ที่มีศึกษาการทดสอบคุณสมบัติการลดทอนคลื่นเสียงซึ่งให้ค่าใกล้เคียงกับแท่งสอบเทียบมาตรฐานต่างประเทศมาทำการผลิตสร้างเป็นแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ โดยผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า

1) การวิศวกรรมย้อนรอยทางด้านโครงสร้างทางโลหะวิทยาและวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของแท่งมาตรฐาน IIW type V-I พบว่า มีโครงสร้างทางจุลภาคและส่วนผสมทางเคมี มีความใกล้เคียงกันอย่างชัดเจนกับวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 ที่ผลิตเป็นแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ

2) ในการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในการผลิตขึ้นรูปผลิตแท่งมาตรฐานสอบเทียบต้นแบบจากภาพถ่ายความร้อนและสเปกตรัมตัดเฉือน พบว่า อุณหภูมิความร้อนจะมีค่าสูงอยู่ที่บริเวณกึ่งกลางของดอกกัด และที่มีเศษของคมตัดเฉือนกระจายออกจะมีอุณหภูมิค่อนข้างต่ำ โดยมีอุณหภูมิประมาณ 26-30 °C ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง ในขณะที่สเปกตรัมตัดเฉือนที่ให้ค่าความเรียบดีคือ การใช้ข้อดราการป้อน (feeds) ของการกัดสูง ส่งผลต่อความเรียบผิวดี

3) จากการตรวจสอบด้านมิติและขนาดด้วยวิธี 3D Scan และตรวจสอบความเรียบผิวของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต่างประเทศกับแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ ซึ่งผลในด้านมิติและขนาด มีความใกล้เคียงกันตามมาตรฐาน ASTM E164

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ผลการทดสอบทั้งส่วนผสมทางเคมีโครงสร้างจุลภาคทางโลหะวิทยา แสดงถึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้วัสดุทดแทน เหล็กกล้า JIS G3101-SS400 ในการสร้างแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบซึ่งงานวิจัยนี้เป็นประโยชน์ในการลดการนำเข้าและพัฒนาเทคโนโลยีใช้เองภายในประเทศต่อไป

2) แท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบที่ผลิตขึ้นนี้ สามารถนำไปฝึกอบรมผลิตบุคลากรด้านซ่อมบำรุงอากาศยาน โดยเฉพาะงานด้านการทดสอบโดยไม่ทำลาย (Nondestructive testing, NDT) และเป็นแนวทางด้านการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีอุปกรณ์พื้นฐานใช้เองภายในประเทศเป็นสิ่งที่ควรคำนึงถึงอย่างยิ่ง

บรรณานุกรม

- [1] พุทธิิ ชาโตะ, การทดสอบแบบไม่ทำลาย. กทม: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), 2541.
- [2] รศ.อาษา ประทีปเสน, การทดสอบโดยไม่ทำลายในงานเชื่อมและการวิจัย: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.
- [3] อีรพงศ์ นีรัตตวิงศกรณ์ และคณะ, "การตรวจสอบแนวเชื่อมต่อบรรจุดินขับโดยคลื่นเสียงความถี่สูง," in การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม, ชะอำ เพชรบุรี, 2555, pp. 1127-1136.
- [4] namicon. (31 september 2017).
- [5] ยุทธพงศ์ ทัพผดุง. ทวีพล ชื่อสัตย์. อีรวัตน์ หนูนา. นวภัทรา หนูนา. การใช้เทคโนโลยีภาพถ่ายความร้อนอินฟราเรดอย่างมืออาชีพ: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2555.
- [6] M. Omámik and I. Baránek, "Metrological Control of Selected Surface Types of a Mechanical Part by Using On-Machine Measurement System," in *Research Papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology* vol. 19, ed, 2011, p. 25.
- [7] M. F. Li, S. Y. Yep, and Y. C. Lim, "A Novel Integrated CMOS Switch Circuit for High Precision Sample-and-Hold Technique," *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, vol. 12, pp. 211-215, April 01 1997.
- [8] A. Mironov and A. Zakharov, "Systematic Errors of High-Precision Photometric Catalogues," *Astrophysics and Space Science*, vol. 280, pp. 71-76, April 01 2002.
- [9] B. Calvo, S. Celma, P. A. Martínez, and M. T. Sanz, "High-Speed High-Precision CMOS Current Conveyor," *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, vol. 36, pp. 235-238, September 01 2003.
- [10] E. Y. Slobodyanik, "Method of Constructing a High-Precision Two-Circuit Angle Measuring System Based on the Combination of Estimates," *Measurement Techniques*, vol. 46, pp. 18-22, January 01 2003.
- [11] R. A. Gahbauer, "A challenge for high-precision radiation therapy: The case for photons," *Strahlentherapie und Onkologie*, vol. 175, pp. 121-122, June 01 1999.
- [12] Zhenghong Zhu and Qian Jiang, "Research on Precision and Ultra-precision Machining Technology Development," in *International Conference on Intelligent Systems Research and Mechatronics Engineering (ISRME 2015)* 2015, pp. 21175-2178.
- [13] K. Blaum, D. Beck, G. Bollen, P. Delahaye, C. Guénaut, F. Herfurth, *et al.*, "Laser Ionization and Penning Trap Mass Spectrometry — A Fruitful Combination for Isomer Separation and High-precision Mass Measurements," in *Laser 2004* :

Proceedings of the 6th International Workshop on Application of Lasers in Atomic Nuclei Research (LASER 2004) held in Poznań, Poland, 24–27 May 2004, Z. Błaszczak, B. Markov, and K. Marinova, Eds., ed Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2006, pp. 173-179.

- [14] J. Liu · D.A. Sergatskov · R.V. Duncan, "Noise Immunity of High-Precision Low-Temperature Experiments," *J Low Temp Phys*, pp. 921–926, 2007.
- [15] F. Ponce, M. H. Carpenter, R. Cantor, and S. Friedrich, "Superconducting Tunnel Junctions for High-Precision EUV Spectroscopy," *Journal of Low Temperature Physics*, vol. 184, pp. 694-698, August 01 2016.





ภาคผนวก ก.
ผล Spectrometer และ XRF

ก.1 ผล Spectrometer ของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต่างประเทศ



PROFESSIONAL TESTING LABORATORY

Chemical Analysis Result

Sample Result Name	Type	Measure Date Time	Recalculation Date Time	Origin	Method Name
RATCHATMONGKOL	Unknown	1/8/2020 12:19:51 PM	1/8/2020 12:27:24 PM	Measured	Fe-30-MO
Method Version	Operator Name	Correction Type	Type Corr Sample Name	Check Type	Check Status
		None		None	NotUsed
Grade Verification Name	Grade Verification Similarity	Grade Search Name	Grade Search Similarity		
	0 %		0 %		
Sample Name	Test No.	Heat No.	Customer Name		
			RATCHATMONGKOL		

Elements

Conc.

Meas.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
	%	%	%	%	%	%	%
	Conc.	Conc.	Conc.	Conc.	Conc.	Conc.	Conc.
1	0.094	0.22	0.74	0.025	0.015	0.078	<0.003
2	0.096	0.21	0.73	0.024	0.020	0.079	<0.003
<x>	0.095	0.21	0.74	0.025	0.017	0.078	<0.003
Mean	0.095	0.21	0.74	0.025	0.017	0.078	<-0.013
SD	0.001	0.009	0.004	0.0007	0.004	0.0002	0.0000
RSD	1.53	4.43	0.59	2.96	21.04	0.28	0.0000

Meas.	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V
	%	%	%	%	%	%	%
	Conc.	Conc.	Conc.	Conc.	Conc.	Conc.	Conc.
1	0.027	0.004	<0.005	0.050	<0.005	0.004	<0.002
2	0.026	0.003	<0.005	0.051	<0.005	0.003	<0.002
<x>	0.027	0.003	<0.005	0.051	<0.005	0.003	<0.002
Mean	0.027	0.003	<0.0000	0.051	<-0.008	0.003	<0.002
SD	0.0009	0.0008	0.0000	0.0006	0.0000	0.0006	0.0000
RSD	3.48	24.78	0.0000	1.27	0.0000	20.40	0.0000

Meas.	W	Pb	Sn	As	Zr	Ca	B
	%	%	%	%	%	%	%
	Conc.	Conc.	Conc.	Conc.	Conc.	Conc.	Conc.
1	<0.040	<0.010	0.008	0.007	<0.003	0.002	<0.0005
2	<0.040	<0.010	0.011	<0.005	<0.003	0.002	<0.0005
<x>	<0.040	<0.010	0.010	0.006	<0.003	0.002	<0.0005
Mean	<-0.061	<-0.004	0.010	<0.002	<-0.0007	0.002	<0.0001
SD	0.0000	0.0000	0.002	0.001	0.0000	0.0004	0.0000
RSD	0.0000	0.0000	24.40	18.46	0.0000	19.40	0.0000

Meas.	Fe						
	%						
	Conc.						
1	98.7						
2	98.7						
<x>	98.7						
Mean	98.8						
SD	0.010						
RSD	0.010						

ก.2 ผล X-Ray Fluorescence (XRF) ของแท่งสอบเทียบมาตรฐานต่างประเทศ



The image shows a handheld XRF analyzer screen. At the top, it says "No Match". Below that, it displays "275 Match 0.0 07-30 06:32" and "Time 1.0". A table lists the following elements and their concentrations:

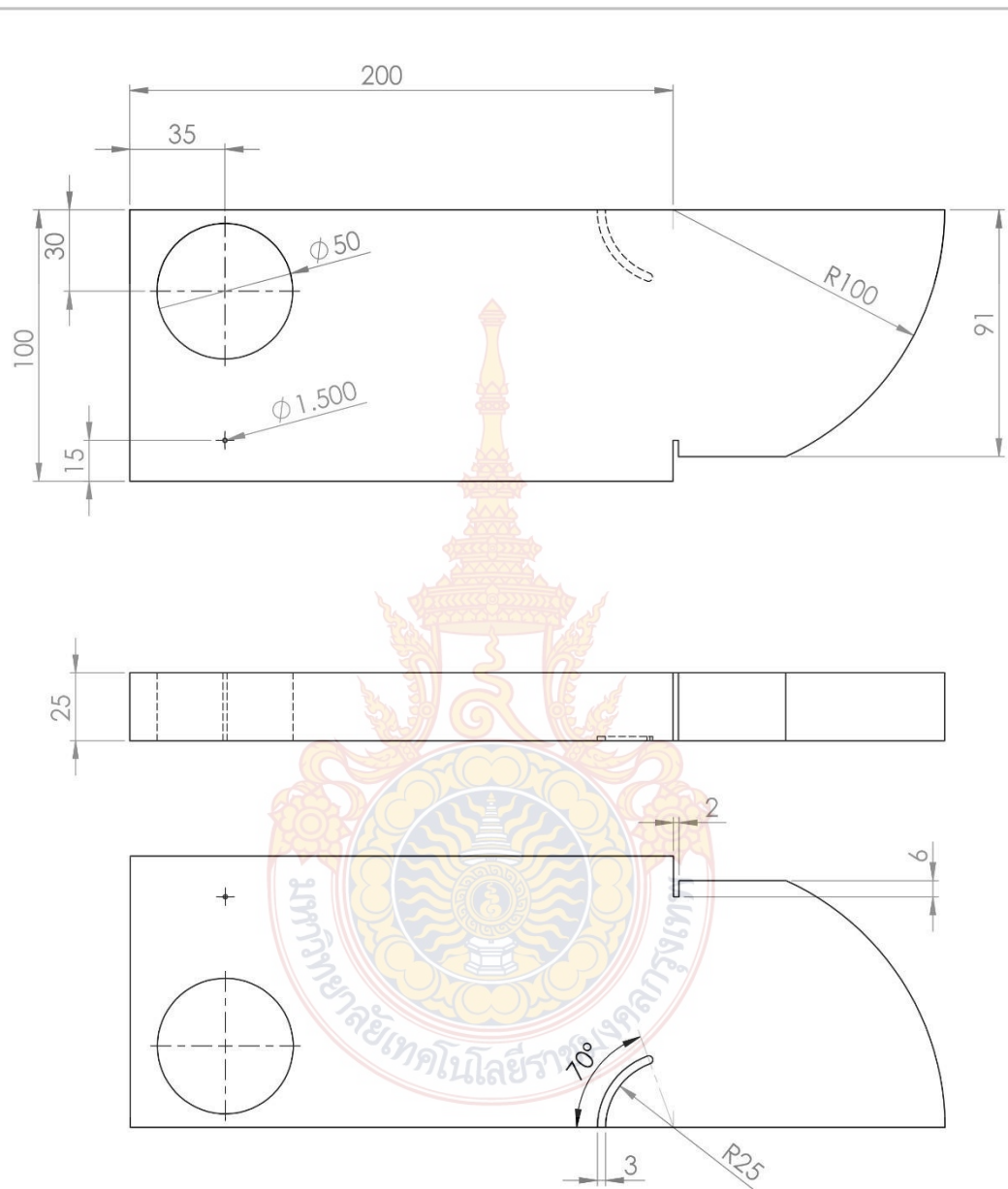
El	Min	%	Max	+/-
Mn		0.146		0.115
Fe		20.022		0.424
Ni		17.350		0.394
Cu		2.760		0.129
Zn		0.000		0.008
Pb		0.026		0.013

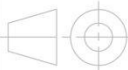
Below the table, there are buttons for "<", "Use in Average", ">", "Averaging", "Calculate Average", "Spectrum", "Edit Info", and "Back".

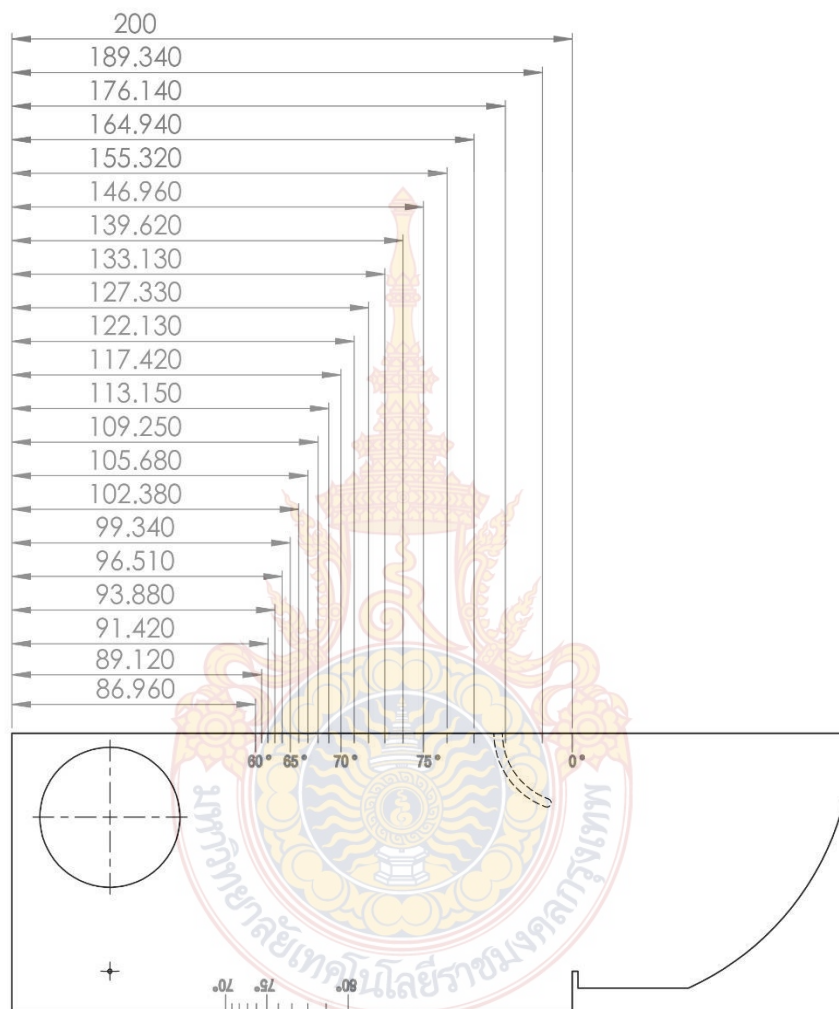
ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี ด้วยวิธีการ XRF (%)	
Pb	0.195
Cu	0.100
Ni	0.096
Ti	0.002
Cr	0.078
Mn	0.740
Fe	98.599

ภาคผนวก ข
แบบทดสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ (Drawing)

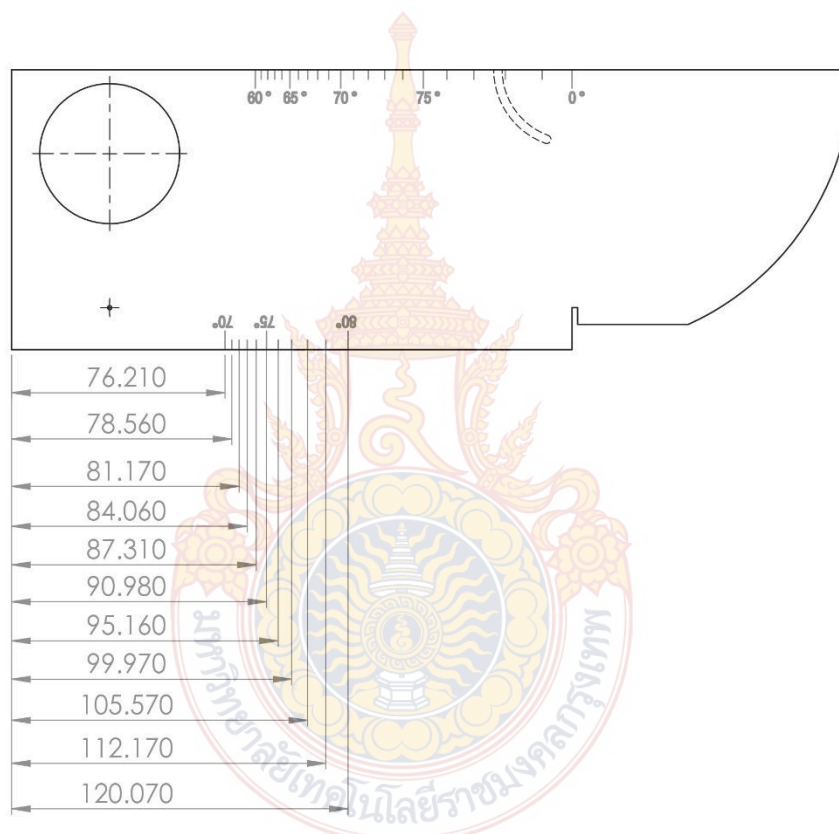




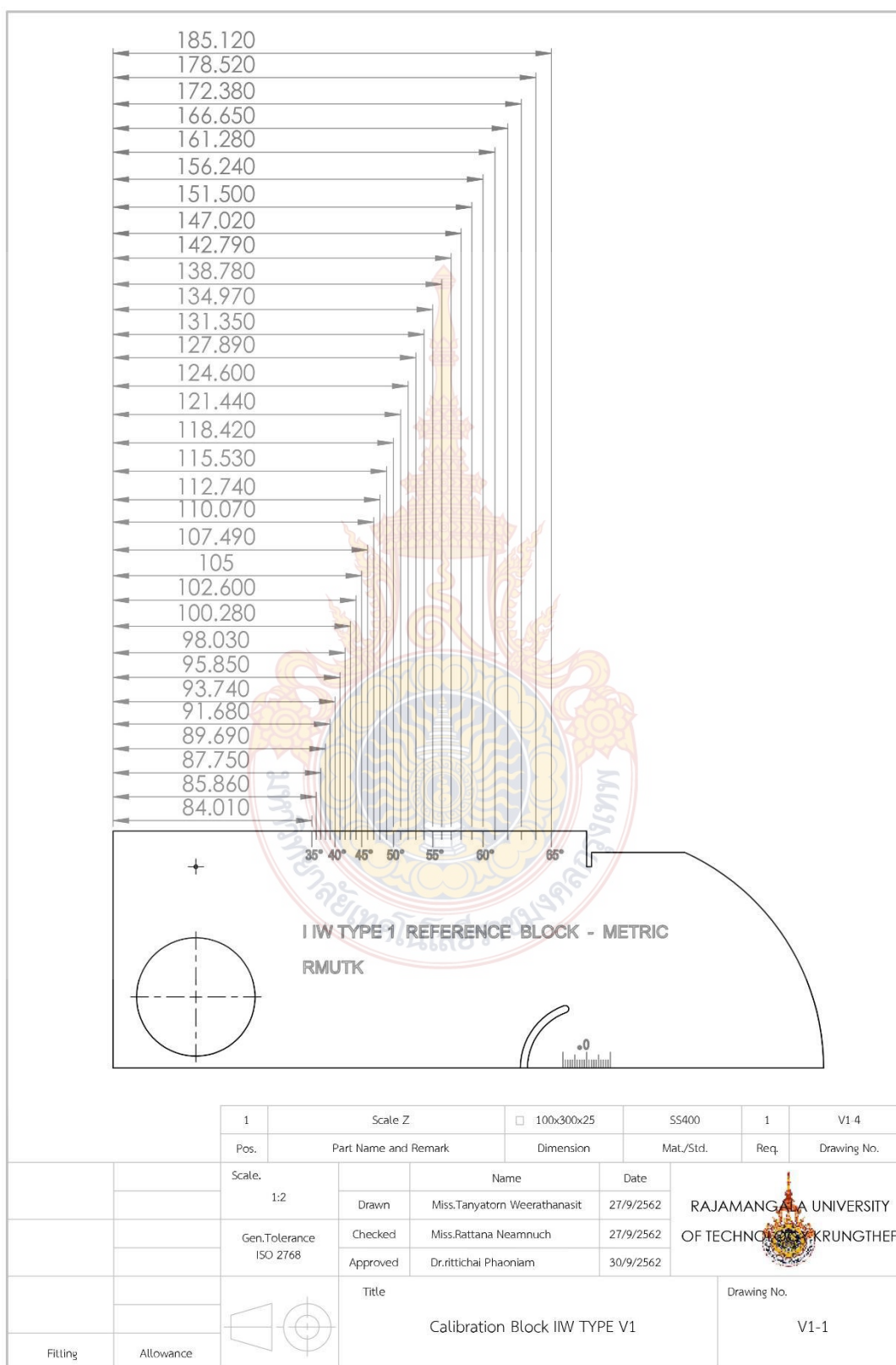
1	Calibration Block for Ultrasonic Testing		☐ 100x300x25	SS400	1	V1-1
Pos.	Part Name and Remark		Dimension	Mat./Std.	Req.	Drawing No.
Scale.			Name	Date	RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY KRUNGTHEP 	
1:2		Drawn	Miss.Tanyatorn Weerathanasit	27/9/2562		
Gen.Tolerance		Checked	Miss.Rattana Neamnuch	27/9/2562		
ISO 2768		Approved	Dr.rittichai Phaoniam	30/9/2562		
		Title			Drawing No.	
		Calibration Block IIW TYPE V1			V1-1	

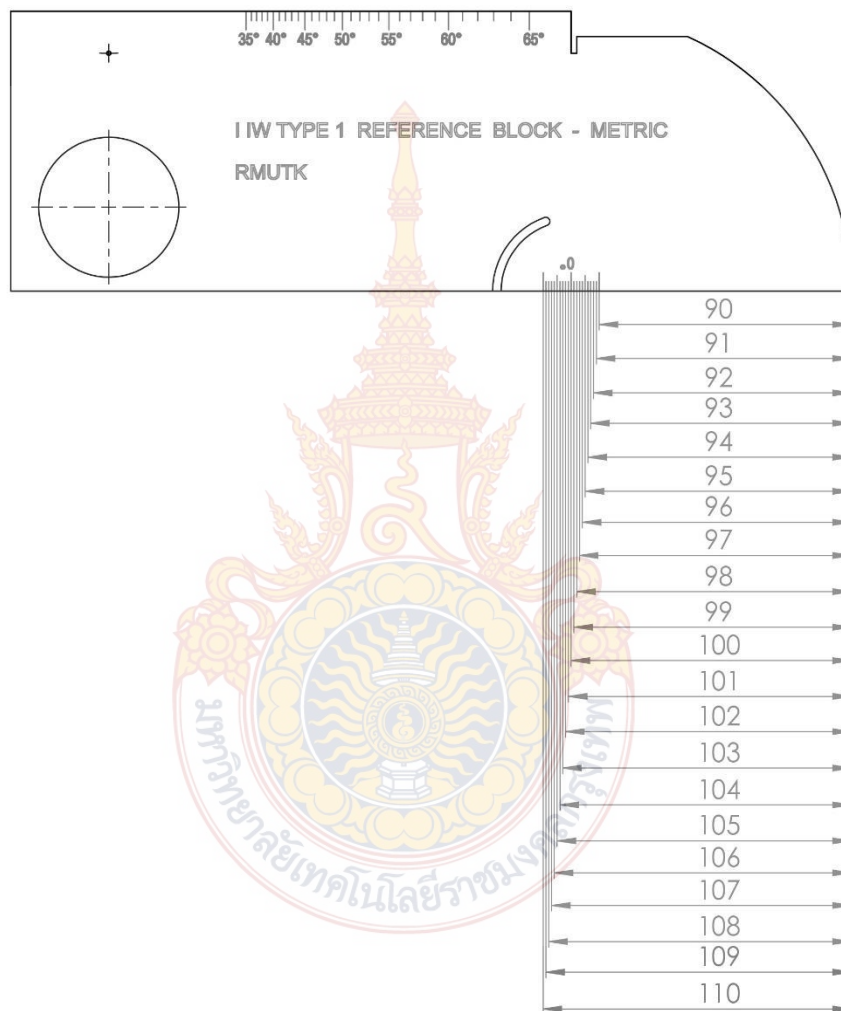


		1	Scale X		☐ 100x300x25	SS400	1	V1.2
		Pos.	Part Name and Remark			Dimension	Mat./Std.	Req. Drawing No.
		Scale.	1:2		Name		Date	
				Drawn	Miss.Tanyatorn Weerathanasit		27/9/2562	
		Gen.Tolerance		Checked	Miss.Rattana Neamnuch		27/9/2562	
		ISO 2768		Approved	Dr.rittichai Phaoniam		30/9/2562	
			Title					Drawing No.
			Calibration Block IIV TYPE V1					V1-1
Fitting	Allowance							



1	Scale Y	☐ 100x300x25	SS400	1	V1-3
Pos.	Part Name and Remark	Dimension	Mat./Std.	Req.	Drawing No.
Scale.	1:2	Name	Date	RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY KRUNGTHAP	
Drawn	Miss.Tanyatorn Weerathanasit	27/9/2562			
Checked	Miss.Rattana Neamnuch	27/9/2562			
Gen.Tolerance	ISO 2768	Approved	Dr.rittichai Phaoniam	30/9/2562	
		Title			Drawing No.
		Calibration Block IIV TYPE V1			V1-1
Fitting	Allowance				





		1	Scale		☐ 100x300x25	SS400	1	V1 5
		Pos.	Part Name and Remark		Dimension	Mat./Std.	Req.	Drawing No.
		Scale.	1: 2		Name		Date	
				Drawn	Miss.Tanyatorn Weerathanasit		27/9/2562	
		Gen.Tolerance ISO 2768	Checked	Miss.Rattana Neamnuch		27/9/2562		RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY KRUNGTHEP
			Approved	Dr.rittichai Phaoniam		30/9/2562		
			Title					Drawing No.
			Calibration Block IW TYPE V1					V1-1
Fitting	Allowance							






 การประชุมวิชาการราชมนถด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ
 28-29 พฤษภาคม 2563 โรงแรมเคพีแกรนด์ อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี

การศึกษาสมบัติคลื่นเสียงเพื่อผลิตแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบ สำหรับการตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูง

Acoustic wave properties study of manufacturing a standard prototype for an ultrasonic calibration block

ฤทธิชัย ภาณเนียม^{1*} สุธรรม สีวาวุธ¹ ธีรยุทธ กาญจนแสงทอง¹ และ จิระศักดิ์ ธาระจักร²

¹ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

² สาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

E-mail: rittichai.p@mail.rmutk.ac.th*

Rittichai Phaoniam^{1*} Suthum Siwawut, Teerayu Kanchanasangtong, Jirasak Tharajak²

¹ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Kungthep

² Department of Industrial Materials Science, Faculty of Science and Technology,

Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

E-mail: rittichai.p@mail.rmutk.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติคลื่นเสียงในการสร้างแท่งสอบเทียบมาตรฐาน (Standard calibration block) ต้นแบบสำหรับใช้ตรวจสอบความถูกต้องของสัญญาณคลื่นเสียงความถี่สูงในงานทดสอบโดยไม่ทำลาย ซึ่งเป็นการลดการนำเข้าและพัฒนาเทคโนโลยีใช้เองภายในประเทศ โดยเริ่มจากวิศวกรรมย้อนรอยแท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIW V-1 ตามมาตรฐาน ASTM 164 จากต่างประเทศ ทำการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี โครงสร้างทางโลหวิทยา และสมบัติการลดทอนคลื่นเสียง (Acoustic attenuation) จากนั้นได้ศึกษาสมบัติคลื่นเสียงเพื่อวัสดุทดแทนได้แก่ เหล็กกล้ามาตรฐาน JIS G3101-SS400 และ G4051-S45C จากผลการศึกษาพบว่าลักษณะสมบัติคลื่นเสียง การลดทอนคลื่นเสียงของเหล็ก JIS G3101-SS400 มีความสอดคล้องกับแท่งมาตรฐานนำเข้าจากต่างประเทศมากกว่าวัสดุทดลองอื่น ณ ระดับความถี่ 2 MHz และ 5 MHz ขณะที่ความถี่ 10 MHz ยังมีความแตกต่างกัน

คำหลัก แท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIW V-1 คลื่นเสียงความถี่สูง งานทดสอบโดยไม่ทำลาย

Abstract

This research aims to manufacture a prototype of a standard calibration block for accurately verifying acoustic signal in ultrasonic testing. Such research is able to reduce importing and developing our technology in Thailand. Begin with investigating an import product of IIW V-1 calibration block as ASTM 164 by reverse engineering; namely, chemical compositions, microstructure as well as, acoustic attenuation. Then, determining local renewable materials such as a carbon steel JIS G3101-SS400 and G4051-S45C. As the results, the results revealed that JIS G3101-SS400 steel provided acoustic properties be more in compliance with an imported product, except the frequency transducer of 10 MHz.

Keywords: IIW V-1 calibration block, Ultrasonic testing, Non-destructive testing



การประชุมวิชาการราชบัณฑิตยสถานเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ
28-29 พฤษภาคม 2563 โรงแรมเคพีแกรนด์ อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี

1. บทนำ

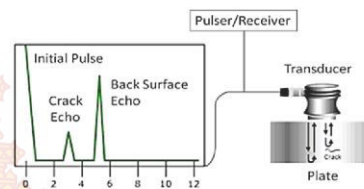
คุณภาพงานการเชื่อมประกอบโครงสร้างเหล็กขนาดใหญ่เป็นสิ่งสำคัญยิ่ง จะต้องมีการตรวจสอบความสมบูรณ์ของรอยต่อทั้งบริเวณภายใน เพื่อความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน ซึ่งวิธีการทดสอบโดยไม่ทำลาย (Nondestructive Testing) ที่ใช้ตรวจสอบความไม่ต่อเนื่องภายในชิ้นงานที่สามารถทราบผลได้ทันทีและปลอดภัยต่อผู้ตรวจสอบคือ การทดสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง (Ultrasonic Testing) ซึ่งจำเป็นต้องใช้ผู้มีความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ในการใช้เครื่องมือและตีความสัญญาณ เพื่อแยกแยะรอยตำหนิที่อยู่ในชิ้นงานได้อย่างถูกต้องและน่าเชื่อถือ จากการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีการศึกษาการประยุกต์ใช้คลื่นเสียงความถี่สูงอย่างหลากหลาย [1-3] เช่น การตรวจสอบในวัสดุผสม (Composite Material) ชิ้นส่วนอากาศยาน ท่อแก๊สธรรมชาติ เป็นต้น ในประเทศไทย [4-7] มีการศึกษาผลกระทบขนาดเกรนและแนวรืดต่อการลดทอนของคลื่นเสียง รวมทั้งรอยเชื่อมโลหะต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าไร้สนิม ผลกระทบของการพ่นพอกอลูมิเนียมด้วยความร้อนต่อการทดสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง เป็นต้น อย่างไรก็ตามเพื่อความแม่นยำในการตรวจสอบจำเป็นต้องมีการสอบเทียบสมบัติคลื่นเสียงก่อนทุกครั้งตามมาตรฐานกำหนด โดยในงานวิจัยต่างๆยังได้มีการประยุกต์ใช้วิศวกรรมย้อนรอยเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตแห่งสอบเทียบมาตรฐาน IIW V-1 (Standard Calibration Block) ใช้เองภายในประเทศ ซึ่งคณะผู้วิจัยมีความมุ่งหมายที่จะดำเนินการแนวทางนี้เพื่อศึกษาวัสดุทดแทนและลดการพึ่งพาจากต่างประเทศต่อไป

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การทดสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง [3]

เป็นการตรวจสอบหารอยบกพร่องภายในชิ้นงาน โดยใช้คลื่นเสียงความถี่สูงผ่านเข้าไปยังชิ้นงานทดสอบโดยอาศัยหลักการในการส่งคลื่นเสียงความถี่ที่มากกว่า 20,000 Hz เมื่อคลื่นเสียงกระทบกับสิ่งกีดขวางจะเกิดการสะท้อนกลับมายังภาครับสัญญาณในเครื่องทดสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง และประมวลออกมาในรูปของสัญญาณทำให้

สามารถตรวจสอบความไม่ต่อเนื่องและตรวจวัดความหนาของชิ้นงานได้ เมื่อคลื่นเสียงตกกระทบกับรอยตำหนิซึ่งมีความต้านทานทางเสียงไม่เท่ากับตัวกลางก็จะให้ สัญญาณสะท้อนกลับ (Reflection) ทำให้สามารถตรวจหารอยตำหนิที่อยู่ในตัวกลางได้โดยระยะเวลา (แกนแนวนอน) และความสูงแอมพลิจูด (Amplitude) สามารถนำมาใช้ในการคำนวณตำแหน่งและขนาดของรอยตำหนิได้ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 หลักการทดสอบด้วยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง [1-3]

2.2 การลดทอนคลื่นเสียง (Acoustic Attenuation) [3]

พลังงานคลื่นเสียงจะสูญเสียเนื่องจากการเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง ซึ่งมาจากการดูดซับ (Absorption) ของเนื้อวัสดุโดยจะเปลี่ยนพลังงานคลื่นเสียงเป็นพลังงานรูปแบบอื่น เช่น ความร้อน เป็นต้น รวมถึงการกระเจิง (Scattering) ซึ่งเป็นการสะท้อนของคลื่นเสียงออกไปจากทิศทางเดิม ปัจจุบันทั้งสื่อนี้เรียกว่า การลดทอนคลื่นเสียง สมบัติการลดทอนคลื่นเสียงสามารถอธิบายความสัมพันธ์จากสมการที่ 1 ดังนี้

$$A = A_0 e^{-\alpha Z} \quad (1)$$

A คือ ค่าพลังงานคลื่นเสียงที่ลดทอนจาก

ตำแหน่งเริ่มต้น

A_0 คือ ค่าพลังงานคลื่นเสียงตำแหน่งเริ่มต้น

e คือ ค่าเอกซโพเนนเชียลประมาณ 2.71828

α คือ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานคลื่น

เสียง (0.1151x เดซิเบล/เมตร)

Z คือ ระยะทางคลื่นเสียงเดินทาง (เมตร)

3. การดำเนินงานวิจัย

การวิจัยนี้ประยุกต์วิศวกรรมย้อนรอยตรวจสอบแห่งสอบเทียบมาตรฐาน IIW V-1 ตามมาตรฐาน ASTM E164 ซึ่งนำเข้ามาจากต่างประเทศดังแสดงในรูปที่ 2 โดยทำการ



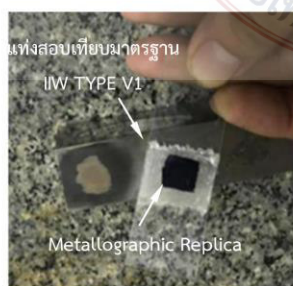
ตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีด้วยวิธี X-Ray Fluorescence (XRF) ดังแสดงในรูปที่ 3 และโครงสร้างจุลภาคทางโลหะวิทยาด้วยเทคนิคคอลลอยด์ (Field Metallographic Replica) ดังแสดงในรูปที่ 4 เพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายต่อแท่งสอบเทียบมาตรฐาน จากนั้นได้ศึกษาสมบัติคลื่นเสียงสำหรับใช้เป็นวัสดุทดแทนภายในประเทศได้แก่ เหล็กกล้ามาตรฐาน JIS G3101-S5400 และ G4051-S45C โดยทดสอบหาสมบัติการลดทอนคลื่นเสียง (Acoustic attenuation) ในวัสดุต่างๆ ที่มีค่าใกล้เคียงและเหมาะสมต่อไป โดยใช้เครื่องตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูง GE รุ่น Krautkramer USM 35 ที่ความถี่ 2 MHz 5 MHz และ 10 MHz เนื่องจากนิยมใช้ในงานอุตสาหกรรม ทดลองเก็บข้อมูลซ้ำ 3 ครั้ง



รูปที่ 2 แท่งสอบเทียบมาตรฐานคลื่นเสียง IIV TYPE V1 ตามมาตรฐาน ASTM E164 จากต่างประเทศ



รูปที่ 3 การตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีด้วยวิธี XRF



รูปที่ 4 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคทางโลหะวิทยาด้วยเทคนิคคอลลอยด์ (Field Metallographic Replica)

4. ผลการวิจัย

4.1 เปรียบเทียบส่วนผสมทางเคมี

ตารางที่ 1 แสดงเปรียบเทียบผลการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีด้วยวิธี XRF ของแท่งสอบเทียบมาตรฐานคลื่นเสียง IIV V-1 ตามมาตรฐาน ASTM E164 จากต่างประเทศและจากเครื่องตรวจวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ (Emission Spectrometer) สำหรับวัสดุภายในประเทศ เหล็กกล้า JIS G3101-S5400 เหล็กกล้า JIS G4051-S45C

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมี (% น้ำหนัก)

ก.แท่งสอบเทียบมาตรฐานคลื่นเสียง IIV V-1

C	Mn	Ni	Cr	Cu	Pb	Ti	Fe
Bal.	0.740	0.096	0.078	0.100	0.195	0.002	98.59

*วิธี XRF ไม่สามารถตรวจสอบหาปริมาณธาตุ C ได้

ข.เหล็กกล้ามาตรฐาน JIS G3101-S5400

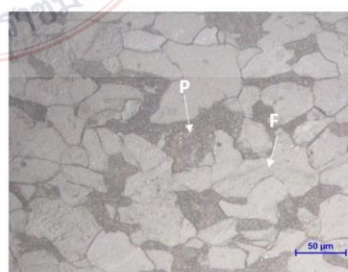
C	Mn	Ni	Cr	Cu	S	P	Si
0.18	0.477	0.015	0.013	0.009	0.019	0.022	0.183

ค.เหล็กกล้ามาตรฐาน G4051-S45C

C	Mn	Ni	Cr	Cu	S	P	Si
0.47	0.76	0.069	0.128	0.136	0.005	0.010	0.238

4.2 ผลทางโครงสร้างจุลภาค

จากรูปที่ 5 แสดงโครงสร้างจุลภาคทางโลหะวิทยาของแท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIV TYPE V1 ด้วยเทคนิคคอลลอยด์ (Metallographic Replica) ซึ่งประกอบไปด้วย โครงสร้างเฟสเฟอร์ไรต์ (F-Ferrite) และเพิร์ลไลต์ (P-Pearlite) ซึ่งบ่งชี้ว่าเป็นเหล็กกล้าไฮโปยูเทกตอยด์ (Hypoeutectoid steel)



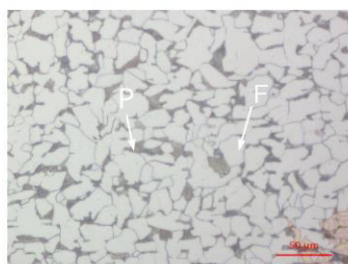
รูปที่ 5 โครงสร้างจุลภาคแท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIV-V1



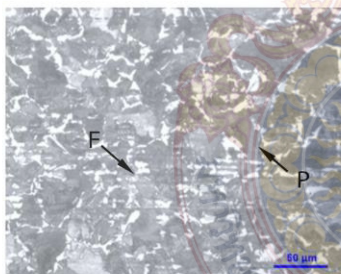
การประชุมวิชาการราชชมภรณ์เทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ
28-29 พฤษภาคม 2563 โรงแรมเคพีแกรนด์ อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี



จากรูปที่ 6 แสดงโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้า JIS G3101-SS400 ซึ่งประกอบไปด้วย โครงสร้างพื้นเฟอร์ไรท์ และเฟิร์ลไลต์ในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกันกับแท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIW-V1 ขณะที่เหล็กกล้า JIS G4051-S45C จะมีปริมาณเฟิร์ลไลต์ที่มากกว่าเนื่องจากปริมาณส่วนผสมคาร์บอนที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 6 โครงสร้างจุลภาคเหล็กกล้า JIS G3101-SS400



รูปที่ 7 โครงสร้างจุลภาคเหล็กกล้า JIS G4051-S45C

4.3 การลดทอนคลื่นเสียง (Acoustic attenuation)

จากรูปที่ 8 แสดงชิ้นงานทดสอบหาสมบัติการลดทอนคลื่นเสียงที่ขนาดความหนา 25 50 75 และ 100 มม. โดยใช้เครื่องตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูง ตั้งแต่ความถี่ 2 MHz 5 MHz และ 10 MHz การกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ระยะทาง (Range) ความเร็วคลื่นเสียง (MTLVEL) การชดเชยสูญเสียคลื่นเสียงที่หัวโพรบ (P-DELAY) และความไวในการตรวจสอบ (Gain; dB) ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 9



ก. ชิ้นงานทดสอบเหล็กกล้า JIS G3101-SS400

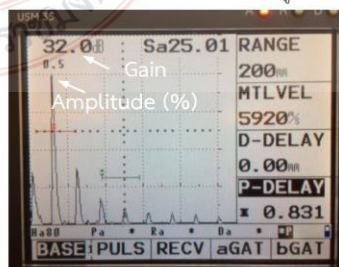


ข. ชิ้นงานทดสอบเหล็กกล้า JIS G4051-S45C

รูปที่ 8 ชิ้นงานทดสอบหาสมบัติการลดทอนคลื่นเสียง



ก. การตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูง



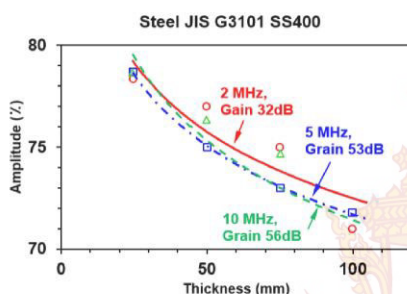
ข. การกำหนดพารามิเตอร์ทดสอบ

รูปที่ 9 การทดสอบสมบัติการลดทอนคลื่นเสียง



การประชุมวิชาการราชชมภรณ์เทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ
28-29 พฤษภาคม 2563 โรงแรมเคพีแกรนด์ อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี

จากรูปที่ 10 แสดงผลการลดทอนคลื่นเสียงในชิ้นงานทดสอบเหล็กกล้า JIS G3101-SS400 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางที่เพิ่มขึ้นและระดับพลังงานคลื่นเสียง (Amplitude) ที่ลดลงพบว่า เมื่อความถี่สูง 5 MHz และ 10 MHz จะมีการลดทอนคลื่นเสียงเพิ่มมากขึ้น ขณะที่ชิ้นงานทดสอบเหล็กกล้า JIS G4051-S45C มีแนวโน้มเช่นเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 11



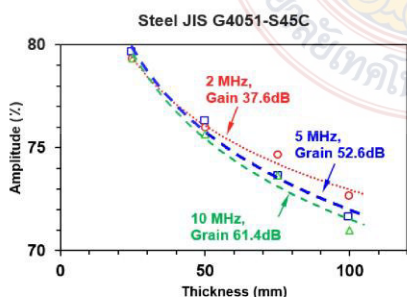
รูปที่ 10 การลดทอนคลื่นเสียง JIS G3101-SS400

จากผลการทดลองดังรูปที่ 10 สามารถแสดงความสัมพันธ์สมการลดทอนคลื่นเสียงในเหล็ก JIS G3101-SS400 ดังสมการที่ 2-4 ดังนี้

$$A_{SS400} = 81.53e^{-0.0013Z} \quad \text{ความถี่ 2 MHz} \quad (2)$$

$$A_{SS400} = 80.43e^{-0.0012Z} \quad \text{ความถี่ 5 MHz} \quad (3)$$

$$A_{SS400} = 82.27e^{-0.0015Z} \quad \text{ความถี่ 10 MHz} \quad (4)$$



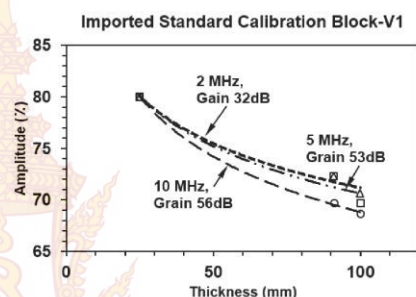
รูปที่ 11 การลดทอนคลื่นเสียง JIS G4051-S45C

จากผลการทดลองดังรูปที่ 11 สามารถแสดงความสัมพันธ์สมการลดทอนคลื่นเสียงในเหล็ก JIS G4051-S45C ดังสมการที่ 5-7 ดังนี้

$$A_{S45C} = 81.12e^{-0.0011Z} \quad \text{ความถี่ 2 MHz} \quad (5)$$

$$A_{S45C} = 82.16e^{-0.0014Z} \quad \text{ความถี่ 5 MHz} \quad (6)$$

$$A_{S45C} = 81.89e^{-0.0014Z} \quad \text{ความถี่ 10 MHz} \quad (7)$$



รูปที่ 12 การลดทอนคลื่นเสียงแท่งสอบเทียบมาตรฐาน

จากผลการทดลองดังรูปที่ 12 สามารถแสดงความสัมพันธ์สมการลดทอนคลื่นเสียงในแท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIV-V1 ดังสมการที่ 8-10 ดังนี้

$$A_{IIV-V1} = 83.89e^{-0.0016Z} \quad \text{ความถี่ 2 MHz} \quad (8)$$

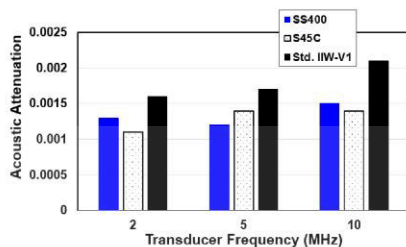
$$A_{IIV-V1} = 83.33e^{-0.0017Z} \quad \text{ความถี่ 5 MHz} \quad (9)$$

$$A_{IIV-V1} = 84.19e^{-0.0021Z} \quad \text{ความถี่ 10 MHz} \quad (10)$$

จากผลการทดลองแสดงความสัมพันธ์ดังสมการลดทอนคลื่นเสียงสำหรับวัสดุต่างๆ ซึ่งสามารถเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานคลื่นเสียง (Acoustic attenuation, α) ดังรูปที่ 13 ผลบ่งชี้ว่า เหล็กกล้า JIS G3101-SS400 มีค่าแนวโน้มใกล้เคียงแท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIV-V1 กว่าเหล็กกล้า JIS G4051-S45C ซึ่งสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานคลื่นเสียงจะเป็นปัจจัยสำคัญในการประเมินผลการตรวจสอบตามเกณฑ์การยอมรับ (Acceptance criteria) สำหรับมาตรฐานสากลต่างๆ



การประชุมวิชาการราชชมรมกล้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ
28-29 พฤษภาคม 2563 โรงแรมเคพีแกรนด์ อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี



รูปที่ 13 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่นเสียง

5. สรุป

ผลการวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาสมบัติคลื่นเสียงเพื่อเป็นฐานข้อมูลสำหรับการสร้างแท่งสอบเทียบมาตรฐาน (Standard calibration block) ต้นแบบในการตรวจสอบความถูกต้องของสัญญาณคลื่นเสียงความถี่สูงในงานทดสอบโดยไม่ทำลายสามารถสรุปผลได้ดังนี้

- เมื่อเปรียบเทียบส่วนผสมทางเคมีและโครงสร้างจุลภาคทางโลหวิทยา พบว่าแท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIV Type V-1 จากต่างประเทศมีโครงสร้างพื้นเพอร์ไรท์และเพิร์ลโลด จำนวนเป็นหลักกล้าไฮโปเทกคอยด์ ซึ่งชิ้นงานทดสอบเหล็กกล้า JIS G3101-SS400 มีความคล้ายคลึงมากกว่าเหล็กกล้า JIS G4051-S45C ทั้งส่วนผสมเคมีและโครงสร้างทางจุลภาค
- ด้านสมบัติคลื่นเสียง พบว่าลักษณะการลดทอนของคลื่นเสียงจะมากขึ้นตามความถี่หัวโพรบตรวจสอบที่เพิ่มขึ้นด้วย ขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนคลื่นเสียงบ่งชี้แนวโน้มสอดคล้องกับแท่งสอบเทียบมาตรฐาน IIV V-1 เหมาะสมที่ความถี่ 2 MHz และ 5 MHz อย่างไรก็ตามที่ความถี่ 10 MHz ยังมีความแตกต่างกัน ความคลาดเคลื่อนประมาณ ± 0.0003 (0.1151x เดซิเบล/เมตร)
- ผลการทดสอบทั้งส่วนผสมทางเคมีโครงสร้างจุลภาคทางโลหวิทยา และสมบัติคลื่นเสียง แสดงถึงความเป็นไปได้ที่จะใช้วัสดุทดแทน เหล็กกล้า JIS G3101-SS400 ในการสร้างแท่งสอบเทียบมาตรฐานต้นแบบซึ่งงานวิจัยนี้เป็นประโยชน์ในการลดการนำเข้าและพัฒนาเทคโนโลยีใช้เองภายในประเทศต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดิน ปี พ.ศ. 2562 สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] S.Gholizadeh, A review of non-destructive testing methods of composite materials, Procedia Structural Integrity, Volume 1, (2016), pp.50-57.
- [2] R.H. Bossi, V. Giurgiutiu, Nondestructive testing of damage in aerospace composites, Polymer Composites in the Aerospace Industry, (2015), pp. 413-448
- [3] Ramesh Singh, Ultrasonic Testing, Applied Welding Engineering (2ndEd), (2016), pp. 343-355
- [4] บุญเหลือ ขวัญศรี อาษา ประทีปเสน, "ผลกระทบของขนาดเกรนและแนวรีตต่อความเร็วและการลดทอนของคลื่นเสียงความถี่สูง," วิศวกรรมศาสตร์, วศ.ม. วิศวกรรมอุตสาหการ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กทม, 2555.
- [5] ใหม่ น้อยพิทักษ์ สิทธิศักดิ์ จารเนตรศรี, "ความสามารถของคลื่นเสียงความถี่สูงในการตรวจสอบรอยเชื่อมโลหะต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าไร้สนิม," วศ.ม. วิศวกรรมอุตสาหการ, วศ.ม. วิศวกรรมอุตสาหการ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กทม, 2558.
- [6] นครินทร์ โพธิ์ดอกไม้ อาษา ประทีปเสน, "การสร้างชิ้นทดสอบฝึกหัดการหลอมละลายด้านข้างไม่สมบูรณ์ในงานเชื่อมสำหรับการทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง," วศ.ม. วิศวกรรมอุตสาหการ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กทม, 2553.
- [7] ติเรก หาญณรงค์ อาษา ประทีปเสน, "ผลกระทบของการพันพอกอลูมิเนียมด้วยความร้อนต่อการทดสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง," วศ.ม., ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กทม, 2555.