**มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี**

**รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์**

**ทุนวิจัยหมวดเงินอุดหนุน (ว.1)**

**ประจำปีงบประมาณ 2562**

# เรื่อง โครงการพัฒนาบุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลาย

# Development of nondestructive testing personnel


**คณะผู้วิจัย**

| | |
|---|---|
| ผศ.ดร. ใหม่ น้อยพิทักษ์ | หัวหน้าโครงการ |
| ผศ.ดร. กมลวรรณ อูปเงิน | ผู้ร่วมโครงการ |
| นางสาวชนิตรา ดำรงกิจ | ผู้ร่วมโครงการ |
| นายชานนท์ เฉียบแหลม | ผู้ร่วมโครงการ |
| นายชนกานต์ เฉียบแหลม | ผู้ร่วมโครงการ |

ศูนย์บริการทางการศึกษาราชบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี



**มีนาคม พ.ศ. 2564**

# กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีจากความอนุเคราะห์ และความร่วมมือต่าง ๆ จากทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง ซึ่งให้การสนับสนุนแก่คณะผู้วิจัยตั้งแต่เริ่มต้นงานวิจัยจนเสร็จสิ้นสมบูรณ์

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีที่ได้สนับสนุนงบประมาณสำหรับการดำเนินงานวิจัย ซึ่งเป็นทุนวิจัยหมวดเงินอุดหนุนที่ได้รับการจัดสรรจากรัฐ ซึ่งงานวิจัยจะไม่สามารถเกิดขึ้นและสำเร็จได้ด้วยดี ถ้าหากขาดความอนุเคราะห์จากแหล่งทุนดังกล่าว คณะผู้วิจัยตระหนักถึงความกรุณา และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ และขอขอบคุณศูนย์บริการทางการศึกษา ราชบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ได้อำนวยความสะดวกในการใช้พื้นที่และเครื่องมือต่าง ๆ สำหรับการดำเนินงานโครงการนี้

คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ให้แก่ผู้อ่านและผู้ที่ให้ความสนใจอยู่ไม่น้อย และสามารถนำความรู้ที่ได้จากงานวิจัยฉบับไปต่อยอดได้ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ทางคณะผู้วิจัยต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ และยินดีน้อมรับข้อคิดเห็นและคำแนะนำเพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

คณะผู้วิจัย

12 มีนาคม 2564

# บทคัดย่อ

โครงการพัฒนาบุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลาย เป็นโครงการเพื่อผลิตและพัฒนากำลังคนด้านการทดสอบโดยไม่ทำลาย รวมถึงดำเนินงานวิจัยที่สอดคล้องกับความต้องการพัฒนากำลังคนของประเทศ โดยการจัดกิจกรรมสัมมนา “วิศวกรรมการทดสอบโดยไม่ทำลาย” มีผู้เข้าร่วมสัมมนา 45 คน และ “การผลิตและทดสอบผลิตภัณฑ์เพื่อสร้างนวัตกรรม” มีผู้เข้าร่วมสัมมนา 37 คน นอกจากนี้ยังจัดการฝึกอบรมบุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลายทั้งภาคทฤษฎีและปฏิบัติ เพื่อให้บุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลาย มีความรู้ความสามารถเทียบเท่าบุคลากรระดับ 2 ตามมาตรฐานของสมาคมการทดสอบโดยไม่ทำลายแห่งสหรัฐอเมริกา (ASNT) ด้วยการอบรม 5 วิธีการ คือ การทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจ การทดสอบโดยวิธีสารแทรกซึม การทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก การทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง และการทดสอบโดยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสี ซึ่งมีผู้เข้ารับการอบรม 28 คน โดยเป็นบุคลากรจากทั้งสถาบันการศึกษาและบุคลากรจากสถานประกอบการภาคเอกชน ผลการประเมินความพึงพอใจในการจัดกิจกรรมสัมมนาในแต่ละรายการ มีค่าอยู่ระหว่าง 3.85 - 4.65 (จากคะแนนเต็ม 5) และผลการประเมินความพึงพอใจในการจัดอบรมเชิงปฏิบัติการ ของแต่ละวิธีมีค่าอยู่ระหว่าง 4.28 - 4.94 จากผลการประเมินความพึงพอใจในการจัดกิจกรรม แสดงให้เห็นถึงความสำเร็จในระดับสูงของโครงการนี้

## Abstract

This project is aimed to increase and develop the skill of non-destructive testing (NDT) personnel by organizing the "Non-Destructive Testing Engineering" seminar which has the 45 attended participants and conducting the "Manufacturing and Product Testing for Innovation" which has 37 participants. This work also conducts the research that corresponded to the country desire of personnel development by training of non-destructive testing personnel both in theory and in practice with 5 training methods of Visual Testing, Liquid Penetrant Testing, Magnetic Particle Testing, Ultrasonic Testing and Radiographic Testing. The trained personnel have the competency as Level 2 personnel in accordance with The American Society for Nondestructive Testing (ASNT). The trainings were given by NDT Level 3 personnel while there were 28 participants were completely trained. The NDT personnel were from both educational institutions and the business enterprise. The satisfaction assessment of the seminar activities in each program shows the satisfaction score between 3.85 - 4.65 (5 in full score). The satisfaction score of the training workshops was between 4.28 - 4.94 (5 in full score) for NDT 5 methods. The satisfaction survey of all activities demonstrates the high level of success of this project.

# สารบัญ


| บทที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| | **กิตติกรรมประกาศ** | **ก** |
| | **บทคัดย่อ** | **ข** |
| | Abstract | **ค** |
| | **สารบัญ** | **ง** |
| | **สารบัญตาราง** | **จ** |
| | **สารบัญรูปภาพ** | **ช** |
| | **คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย** | **ญ** |
| **1** | **บทนำ** | **1** |
| | 1.1 ความสำคัญและที่มา | **1** |
| | 1.2 วัตถุประสงค์ | **2** |
| | 1.3 ขอบเขตของโครงการ | **2** |
| | 1.4 วิธีการดำเนินงาน | **2** |
| | 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | **3** |
| **2** | **แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง** | **4** |
| | 2.1 หลักการการทดสอบโดยไม่ทำลาย | **4** |
| | 2.2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง | **16** |
| **3** | **ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย** | **23** |
| **4** | **อภิปรายผล** | **29** |
| | 4.1 การจัดทำเอกสารประกอบการอบรม | **29** |
| | 4.2 การจัดทำชิ้นงานมาตรฐานและชิ้นงานสำหรับการฝึกอบรมภาคปฏิบัติ 5 วิธี | **32** |
| | 4.3 การประชาสัมพันธ์ การจัดสัมมนาและการอบรมเชิงปฏิบัติการ | **37** |
| **5** | **สรุปและข้อเสนอแนะ** | **41** |
| | 5.1 สรุปผลการดำเนินงาน | **41** |
| | 5.2 ข้อเสนอแนะ | **42** |
| | **เอกสารอ้างอิง** | **43** |
| | **ภาคผนวก ก** | **44** |
| | **ภาคผนวก ข** | **49** |
| | **ภาคผนวก ค** | **57** |
| | **ภาคผนวก ง** | **67** |

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.1 | ระยะเวลาในการแทรกซึมต่ำสุดตามมาตรฐาน ASME | 7 |
| 2.2 | ข้อกำหนดขั้นต่ำของจำนวนชั่วโมงในการฝึกอบรมตามมาตรฐาน มอก. 9712 | 18 |
| 2.3 | ข้อกำหนดขั้นต่ำของจำนวนชั่วโมงในการฝึกอบรมตามมาตรฐาน ASNT SNT-TC-1A (2011) | 19 |
| 3.1 | กำหนดการสัมมนา “วิศวกรรมการทดสอบโดยไม่ทำลาย” วันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2563 ณ ห้อง Open Classroom อาคารหอสมุด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (ราชบุรี) | 25 |
| 3.2 | หัวข้อการฝึกอบรมที่ 1 การทดสอบโดยวิธีตรวจพินิจ (Visual Testing) วันที่ 14-15 กุมภาพันธ์ 2563 | 25 |
| 3.3 | หัวข้อการฝึกอบรมที่ 2 การทดสอบโดยวิธีสารแทรกซึม (Liquid Penetrant Testing) วันที่ 21-22 กุมภาพันธ์ 2563 | 26 |
| 3.4 | หัวข้อการฝึกอบรมที่ 3 การทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก (Magnetic Particle Testing) วันที่ 28-29 กุมภาพันธ์ 2563 | 26 |
| 3.5 | หัวข้อการฝึกอบรมที่ 4 การทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง (Ultrasonic Testing) วันที่ 6-7 มีนาคม 2563 | 27 |
| 3.6 | หัวข้อการฝึกอบรมที่ 5 การทดสอบโดยวิธีการถ่ายภาพด้วยรังสี (Radiographic Testing: Film Interpretation) วันที่ 13-14 มีนาคม 2563 | 27 |
| 3.7 | กำหนดการสัมมนา “การผลิตและทดสอบผลิตภัณฑ์เพื่อสร้างนวัตกรรม” วันที่ 18 กรกฎาคม 2563 ณ พิณทอง ริเวอร์ไซด์ รีสอร์ท อ.สามพราน จ.นครปฐม | 28 |
| 4.1 | สรุปจำนวนผู้เข้าร่วมโครงการ | 37 |
| 4.2 | คำถามนำที่ใช้สำหรับการเสวนา “การผลิตและทดสอบผลิตภัณฑ์เพื่อสร้างนวัตกรรม” | 38 |
| 4.3 | ผลการประเมินความพึงพอใจในการจัดสัมมนาโครงการพัฒนาบุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลาย | 39 |
| 4.4 | ผลการประเมินความพึงพอใจในการจัดอบรมเชิงปฏิบัติการโครงการพัฒนาบุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลาย | 39 |
| 4.5 | ข้อเสนอแนะจากผู้เข้าร่วมสัมมนา | 40 |
| 4.6 | ข้อเสนอแนะจากผู้เข้าร่วมการอบรมเชิงปฏิบัติการ | 40 |

## สารบัญตาราง (ต่อ)


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| ก.1 | รายชื่อผู้เข้าร่วมสัมมนา “วิศวกรรมการทดสอบโดยไม่ทำลาย” วันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2563 ณ ห้อง Open Classroom อาคารหอสมุด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (ราชบุรี) | 44 |
| ก.2 | รายชื่อผู้เข้าร่วมสัมมนา “การผลิตและทดสอบผลิตภัณฑ์เพื่อสร้างนวัตกรรม” วันที่ 18 กรกฎาคม 2563 ณ พิณทอง ริเวอร์ไซด์รีสอร์ท อ.สามพราน จ.นครปฐม | 46 |
| ก.3 | รายชื่อผู้เข้าร่วมอบรมเชิงปฏิบัติการ ทั้ง 5 วิธีการ | 47 |

# สารบัญรูปภาพ


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.1 | ขั้นตอนการทดสอบโดยวิธีสารแทรกซึม | 5 |
| 2.2 | การรั่วไหลของสนามแม่เหล็ก | 8 |
| 2.3 | ฮีสเทอรีซิสแม่เหล็ก | 9 |
| 2.4 | หลักการทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง | 11 |
| 2.5 | ไอคิวไอตามมาตรฐานเยอรมัน | 14 |
| 2.6 | มิเตอร์สำรวจ | 15 |
| 2.7 | โดสมิเตอร์ | 15 |
| 2.8 | ข้อกำหนดขั้นต่ำของจำนวนชั่วโมงในการฝึกอบรมตามมาตรฐาน มอก. 9712 | 18 |
| 2.9 | ข้อกำหนดขั้นต่ำของจำนวนชั่วโมงในการฝึกอบรมตามมาตรฐาน ASNT SNT-TC-1A (2011) | 19 |
| 2.10 | ระยะและมุมตรวจสอบในการทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจ | 21 |
| 4.1 | หน้าปกเอกสารการฝึกอบรมการทดสอบโดยวิธีตรวจพินิจ | 29 |
| 4.2 | หน้าปกเอกสารการฝึกอบรมการทดสอบโดยวิธีสารแทรกซึม | 30 |
| 4.3 | หน้าปกเอกสารการฝึกอบรมการทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก | 30 |
| 4.4 | หน้าปกเอกสารการฝึกอบรมการทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง | 31 |
| 4.5 | หน้าปกเอกสารการฝึกอบรมการทดสอบโดยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสี | 31 |
| 4.6 | ชิ้นงานสำหรับการทดสอบโดยวิธีตรวจพินิจ ซึ่งเป็นชิ้นงานหล่ออลูมิเนียม | 32 |
| 4.7 | ชิ้นงานสำหรับการทดสอบโดยวิธีตรวจพินิจ ซึ่งเป็นชิ้นงานเชื่อม ที่มีรอยความไม่ต่อเนื่อง | 32 |
| 4.8 | ชิ้นงานฝึกภาคปฏิบัติสำหรับการทดสอบโดยวิธีสารแทรกซึม | 33 |
| 4.9 | ชิ้นงานสำหรับการทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก ซึ่งเป็นชิ้นงานเชื่อมแบบต่อชนที่มีรอยความไม่ต่อเนื่อง | 34 |
| 4.10 | ชิ้นงานสำหรับการทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก ซึ่งเป็นชิ้นงานเชื่อมต่อฉากที่มีรอยความไม่ต่อเนื่อง | 34 |
| 4.11 | ชิ้นงานสำหรับการทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง ซึ่งเป็นชิ้นงานเชื่อมที่มีรอยความไม่ต่อเนื่องสำหรับหัวตรวจสอบมุม | 35 |
| 4.12 | ชิ้นงานสำหรับการทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง ซึ่งเป็นชิ้นงานที่มีรอยความไม่ต่อเนื่องสำหรับหัวตรวจสอบตรง | 35 |
| 4.13 | ชิ้นงานสำหรับการทดสอบโดยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสี ซึ่งเป็นชิ้นงานหล่ออลูมิเนียม | 36 |
| 4.14 | ชิ้นงานสำหรับการทดสอบโดยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสี ซึ่งเป็นชิ้นงานเชื่อม ที่มีรอยความไม่ต่อเนื่อง | 36 |

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 4.14 | ชิ้นงานสำหรับการทดสอบโดยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสี ซึ่งเป็นชิ้นงานเชื่อม ที่มีรอยความไม่ต่อเนื่อง | 38 |
| ข.1 | แผ่นประชาสัมพันธ์งานสัมมนาหัวข้อ “วิศวกรรมการทดสอบโดยไม่ทำลาย” | 49 |
| ข.2 | แผ่นประชาสัมพันธ์การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ “การทดสอบโดยไม่ทำลาย” 5 วิธีการ | 50 |
| ข.3 | แผ่นประชาสัมพันธ์การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ “การทดสอบโดยวิธีตรวจพินิจ” | 50 |
| ข.4 | แผ่นประชาสัมพันธ์การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ “การทดสอบโดยวิธีสารแทรกซึม” | 51 |
| ข.5 | แผ่นประชาสัมพันธ์การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ “การทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก” | 51 |
| ข.6 | แผ่นประชาสัมพันธ์การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ “การทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง” | 52 |
| ข.7 | แผ่นประชาสัมพันธ์การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ “การทดสอบโดยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสี” | 52 |
| ข.8 | แผ่นประชาสัมพันธ์งานสัมมนาหัวข้อ “การผลิตและทดสอบผลิตภัณฑ์เพื่อสร้างนวัตกรรม” | 53 |
| ข.9 | QR code เพื่อเข้าถึงข้อมูล facebook page ของหน่วยวิจัยวัสดุและการทดสอบโดยไม่ทำลาย | 54 |
| ข.10 | กำหนดการจัดอบรมเชิงปฏิบัติการ “การทดสอบโดยวิธีตรวจพินิจ” | 54 |
| ข.11 | กำหนดการจัดอบรมเชิงปฏิบัติการ “การทดสอบโดยวิธีสารแทรกซึม” | 55 |
| ข.12 | กำหนดการจัดอบรมเชิงปฏิบัติการ “การทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก” | 55 |
| ข.13 | กำหนดการจัดอบรมเชิงปฏิบัติการ “การทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง” | 56 |
| ข.14 | กำหนดการจัดอบรมเชิงปฏิบัติการ “การทดสอบโดยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสี” | 56 |
| ค.1 | ภาพงานสัมมนา “วิศวกรรมการทดสอบโดยไม่ทำลาย” | 57 |
| ค.2 | ภาพงานสัมมนา “การผลิตและทดสอบผลิตภัณฑ์เพื่อสร้างนวัตกรรม” | 64 |
| ง.1-8 | การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ “การทดสอบโดยวิธีตรวจพินิจ” | 67 |

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| ง.9-16 | การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ “การทดสอบโดยวิธีสารแทรกซึม” | 71 |
| ง.17-24 | การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ “การทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก” | 75 |
| ง.25-32 | การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ “การทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง” | 79 |
| ง.33-40 | การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ “การทดสอบโดยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสี” | 83 |

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย
## (List of Abbreviations)

| | |
|---|---|
| มอก | มาตรฐานอุตสาหกรรม |
| ASME | สมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งสหรัฐอเมริกา (American Society for Mechanical Engineers) |
| ASME Section V | ASME Boiler and Pressure Vessel Code: Section V Nondestructive Examination |
| ASNT SNT-TC-1A | Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing |
| ASTM | สมาคมการทดสอบและวัสดุแห่งสหรัฐอเมริกา (American Society for Testing and Materials) |
| ASTM E165 | Standard Test Method for Liquid Penetrant Examination |
| ASTM A514 | Specification for Mild-to-Medium-Strength Carbon-Steel Castings for General Application |
| ASTM A517 | Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, High-Strength, Quenched and Tempered |
| ASTM E709 | Standard Guide for Magnetic Particle Examination |
| °C | องศาเซลเซียส |
| EN ISO 3452-2 | Non-destructive testing – Penetrant testing – Part 2: Testing of penetrant materials |
| °F | องศาฟาเรนไฮต์ |
| ISO | องค์การมาตรฐานนานาชาติ (International Organization for Standardization) |
| ISO 9712 | Non-destructive testing – Qualification and certification of NDT personnel |

# บทที่ 1

# บทนำ

## 1.1 ความสำคัญและที่มา

การทดสอบโดยไม่ทำลาย (Nondestructive testing: NDT) เป็นการตรวจสอบ ทดสอบ หรือประเมินคุณลักษณะของวัสดุ โดยเมื่อทดสอบแล้วสิ่งที่ทดสอบไม่ถูกทำลายให้เสียหายอันเนื่องจากวิธีการทดสอบ และยังสามารถนำไปใช้งานต่อได้ (อาษา ประทีปเสน, 2550) การทดสอบโดยไม่ทำลายมีความสำคัญอย่างมากในการตรวจสอบและประเมินรอยความไม่ต่อเนื่อง (Discontinuities) ต่าง ๆ รวมถึงการควบคุมกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม เพื่อสร้างความเชื่อมั่นในความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน ซึ่งรอยความไม่ต่อเนื่องต่าง ๆ นั้นอาจก่อให้เกิดอันตรายขึ้นในอนาคตและเกิดการสูญเสียเป็นมูลค่ามหาศาล วิธีการทดสอบนี้จึงถูกนำมาใช้อย่างมากในอุตสาหกรรมหลายประเภท ซึ่งการทดสอบโดยไม่ทำลายมีหลายวิธีด้วยกัน แต่ละวิธีมีข้อดีและข้อจำกัดที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับจุดประสงค์และความเหมาะสมของการนำไปใช้งาน และจากมาตรฐานหรือข้อกำหนดที่นำมาใช้ เช่น ASNT SNT-TC-1A และ ISO 9712 เป็นต้น บุคลากรที่สามารถทำงานในด้านการทดสอบโดยไม่ทำลายต้องเป็นผู้ที่มีความรู้ ความสามารถ รวมทั้งต้องผ่านการฝึกอบรมและสอบผ่านตามข้อกำหนด โดยมีการกำหนดชั่วโมงการฝึกอบรมขั้นต่ำทั้งภาคทฤษฎีและปฏิบัติ และกำหนดเกณฑ์การประเมินความสามารถของบุคลากร เพื่อเป็นการเพิ่มทักษะให้กับผู้ปฏิบัติงานด้านการทดสอบโดยไม่ทำลาย ซึ่งการทดสอบแต่ละวิธีนั้นมีตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อการทดสอบ (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.9712-2550, 2551, The American Society for Nondestructive Testing, 2011) ตลอดจนการแปลผลและประเมินผลต้องอาศัยความรู้และประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงานเป็นหลัก ส่วนการทดสอบโดยไม่ทำลายในประเทศไทยนั้น บุคลากรส่วนใหญ่ยังปฏิบัติงานโดยมีความรู้และทักษะในการปฏิบัติงานไม่เพียงพอ ไม่มีความเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะรอยบ่งชี้ที่ตรวจพบ หรืออาจมีความเข้าใจผิดเกี่ยวกับการทดสอบโดยไม่ทำลาย ส่งผลให้เกิดการแปลผล ตัดสินผลผิดพลาด ทำให้ผลการทดสอบไม่ตรงตามหลักวิชาการ

หน่วยวิจัยวัสดุและการทดสอบโดยไม่ทำลาย ศูนย์บริการทางการศึกษาราชบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (ราชบุรี) ตั้งอยู่ในพื้นที่ภูมิภาคตะวันตก ได้เล็งเห็นความสำคัญของการพัฒนาศักยภาพและทักษะของบุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลายในภูมิภาคนี้ ดังนั้น หน่วยวิจัยวัสดุและการทดสอบโดยไม่ทำลาย มจธ. ราชบุรี จึงดำเนินการจัดการสัมมนา และการฝึกอบรมทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติให้กับบุคลากรที่ปฏิบัติงานด้านการทดสอบไม่ทำลายภายในพื้นที่ภาคตะวันตกและภาคใต้ตอนบน เพื่อให้บุคลากรที่ปฏิบัติงาน มีคุณภาพและมีทักษะการปฏิบัติงานเป็นไปตามมาตรฐานสากล ตลอดจนบุคลากรสามารถเข้าถึงการฝึกอบรมได้โดยง่าย และเกิดผลประโยชน์สูงสุดในการปฏิบัติงาน รวมถึงการให้โอกาสแก่บุคลากรทางการศึกษาได้เข้ารับการฝึกอบรม เพื่อนำความรู้และประสบการณ์ภาคปฏิบัติไปถ่ายทอดให้ผู้เรียนในสถานศึกษา ได้ถือเป็นแนวทางปฏิบัติงานอย่างเป็นมาตรฐานเมื่อสำเร็จการศึกษาไปประกอบวิชาชีพในอนาคต

**1.2 วัตถุประสงค์**

เพื่อพัฒนาบุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลาย ให้มีความรู้เทียบเท่าบุคลากรระดับ 2 ตามมาตรฐานของสมาคมการทดสอบโดยไม่ทำลายแห่งสหรัฐอเมริกา (ASNT) ทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ

**1.3 ขอบเขตของโครงการ**

1.3.1 จัดอบรมและพัฒนาบุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลายในกลุ่มอุตสาหกรรมบริเวณพื้นที่ภาคตะวันตกและภาคใต้ตอนบน ตลอดจนบุคลากรจากสถานศึกษาสังกัดสำนักงานคณะกรรมการอาชีวศึกษาหรือสถาบันพัฒนาฝีมือแรงงานในพื้นที่ภาคตะวันตกและภาคใต้ตอนบน

1.3.2 จัดอบรมและพัฒนาบุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลาย โดยมีสาขาการทดสอบโดยไม่ทำลาย ดังนี้

1. การทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจ (Visual testing: VT)
2. การทดสอบโดยวิธีสารแทรกซึม (Liquid penetrant testing: PT)
3. การทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก (Magnetic particle testing: MT)
4. การทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง (Ultrasonic testing: UT)
5. การทดสอบโดยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสี (Radiographic testing: RT)

**1.4 วิธีการดำเนินงาน**

โครงการนี้จะศึกษา รวบรวมข้อมูลและมาตรฐานเกี่ยวกับการทดสอบโดยไม่ทำลาย 5 วิธีการ เพื่อ จัดทำเอกสารประกอบการอบรม และเตรียมสถานที่ในการจัดอบรมโครงการพัฒนาบุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลาย จากนั้นออกแบบ กำหนดวิธีการ และควบคุมการจัดทำชิ้นงานมาตรฐานและชิ้นงานสำหรับการฝึกอบรมภาคปฏิบัติ และทำการประชาสัมพันธ์ข่าวสารการจัดอบรมโครงการพัฒนาบุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลายให้แก่สถานประกอบการทุกกลุ่มอุตสาหกรรมและสถานศึกษาที่เกี่ยวข้องในภาคตะวันตกและภาคใต้ตอนบน เกี่ยวกับการจัดสัมมนาและจัดฝึกอบรมโครงการพัฒนาบุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลายทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ เมื่อจบการสัมมนาและฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ ทางคณะผู้วิจัยจะรวบรวมข้อมูลบุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลาย ติดตามผลการอบรม สรุปผลการจัดโครงการและเผยแพร่ข้อมูลความสำเร็จของโครงการ

**1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

1.5.1 บุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลายสามารถนำความรู้ที่ได้จากการอบรมไปใช้ปฏิบัติงานได้อย่างถูกต้อง

1.5.2 บุคลากรจากสถานศึกษาสามารถถ่ายทอดความรู้ที่ได้จากการอบรมให้แก่ผู้เรียนภายในสถานศึกษาได้อย่างถูกต้องและชี้แนะแนวทางการปฏิบัติงานได้อย่างถูกต้อง

**ผู้ที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์**

| ผู้ใช้ | การใช้ประโยชน์ |
|---|---|
| บุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลาย | ได้พัฒนาทักษะทางวิชาชีพของตนและปฏิบัติงานทางวิชาชีพได้อย่างถูกต้องตามมาตรฐานสากล |
| เจ้าของสถานประกอบการการทดสอบโดยไม่ทำลาย | จัดให้บุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลายเข้าร่วมอบรมภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติเพื่อพัฒนาความรู้และทักษะของบุคลากรที่เกี่ยวข้องในการปฏิบัติงาน |
| บุคลากรทางการศึกษา | เข้าร่วมอบรมภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติเพื่อนำความรู้ที่ได้ไปถ่ายทอดให้แก่ผู้เรียนภายในสถานศึกษา |

# บทที่ 2

# แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โครงการวิจัยนี้มุ่งเน้นการฝึกอบรมภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติของวิธีการทดสอบโดยไม่ทำลายที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมให้กับบุคลากรที่ทำงานด้านการทดสอบโดยไม่ทำลาย โดยมีวิธีการทดสอบดังนี้ การทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจ การทดสอบโดยวิธีสารแทรกซึม การทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก การทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง และการทดสอบโดยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสี เพื่อทำให้เกิดการพัฒนาบุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลาย ให้มีความรู้เทียบเท่าบุคลากรระดับ 2 ตามมาตรฐานของสมาคมการทดสอบโดยไม่ทำลายแห่งสหรัฐอเมริกา (ASNT) ทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ

## 2.1 หลักการการทดสอบโดยไม่ทำลาย

การทดสอบโดยไม่ทำลายทั้ง 5 วิธีที่กล่าวมาข้างต้น มีรายละเอียดและหลักการการทดสอบ พอสังเขป ดังนี้

**1. การทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจ (อาษา ประทีปเสน, 2550)**

การทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจ เป็นวิธีการทดสอบชิ้นงานโดยใช้สายตาของผู้ทดสอบ อาจมีอุปกรณ์ในการช่วยทดสอบได้ เช่น แว่นขยาย กล้องไฟเบอร์สโคป เครื่องมือวัดประเภทเกจ เป็นต้น ซึ่งวิธีการทดสอบนี้เป็นวิธีที่สำคัญและควรทำก่อนการทดสอบประเภทอื่นๆ เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย ใช้เวลาในการทดสอบน้อย และสามารถทำได้ทุกขั้นตอนการผลิต อีกทั้งหากตัดสินผลของการทดสอบแล้วว่าเป็นของเสียก็ไม่จำเป็นต้องทดสอบโดยวิธีอื่นอีกต่อไป ซึ่งวิธีการทดสอบนี้ผู้ปฏิบัติงานต้องมีความรู้ความชำนาญ ลักษณะการใช้งานเกี่ยวกับชิ้นงาน และรู้จักรอยความไม่ต่อเนื่อง รวมถึงต้องสามารถประเมินผลตัดสินว่าเป็นของเสียหรือไม่ โดยบุคลากรที่ปฏิบัติหน้าที่ ต้องมีการตรวจสายตาประจำปี ได้แก่ ตาบอดสี และความสามารถในการมองเห็น ตามมาตรฐานทดสอบเจเกอร์ หรือมาตรฐานเทียบเท่า โดยแบ่งลักษณะการทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจตามข้อกำหนดของ ASME Section V ออกเป็น 3 ลักษณะ ดังนี้

**การทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจโดยตรง**

ผู้ทดสอบต้องมีสายตาดี ผ่านการทดสอบสายตาตามข้อกำหนด โดยในการทดสอบต้องมีระยะห่างจากผิวชิ้นงานไม่เกิน 24 นิ้ว สายตาทำมุมไม่ต่ำกว่า 30° กับระนาบของผิวชิ้นงาน ซึ่งในแต่ละมาตรฐานจะกำหนดแสงสว่างที่ใช้งานไว้ไม่เท่ากัน เช่น ประมาณ 1,000 ลักซ์ ในกรณีหารอยความไม่ต่อเนื่องที่มีขนาดเล็ก

**การทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจโดยอ้อม**

บางกรณีต้องทดสอบในบริเวณที่ไม่สามารถมองด้วยสายตาโดยตรงได้ จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ช่วยทดสอบระยะไกล เช่น กระจกเงา กล้องเทเลสโคป และกล้องบอร์สโคป เป็นต้น

**การทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจใช้แสงสว่างช่วย**

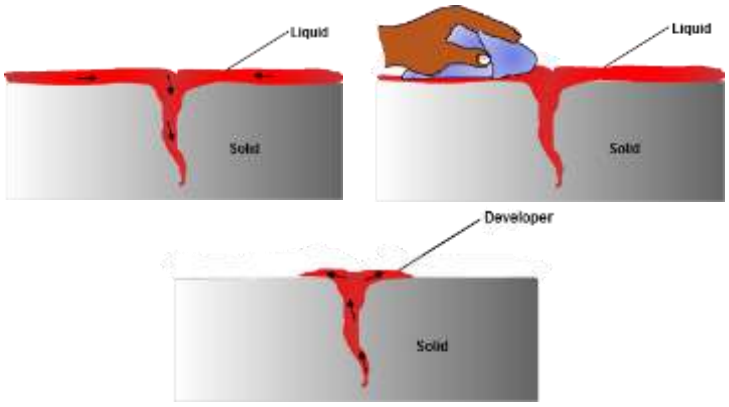
เป็นการช่วยเสริมการทดสอบ โดยใช้แสงสว่างที่สร้างขึ้นมาใช้งานเฉพาะ เช่น การใช้แสงสว่างจากหลอดไฟ ซึ่งจำกัดการส่องสว่างเฉพาะโดยมีการกระจายความเข้มของการส่องสว่างสม่ำเสมอ และต้องมีการจำกัดแสงสว่างโดยรอบให้มีความเข้มน้อยกว่าแสงสว่างที่สร้างขึ้นมาใช้งาน และควบคุมไม่ให้แสงสะท้อนจากผิวชิ้นงานที่ทดสอบสะท้อนเข้าสู่สายตา โดยแสงสว่างที่สร้างขึ้นมาต้องมีความเข้มส่องสว่างตามข้อกำหนดของมาตรฐานนั้นๆ

การทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจสำหรับงานเชื่อม แบ่งออกเป็น 4 ประเภท ตามช่วงเวลาที่ทดสอบ ได้แก่

1) การทดสอบก่อนการเชื่อม
2) การทดสอบหลังการประกอบรอยต่อ
3) การทดสอบขณะเชื่อม
4) การทดสอบหลังการเชื่อม

**2. การทดสอบโดยวิธีสารแทรกซึม (อาษา ประทีปเสน, 2550)**

การทดสอบโดยวิธีสารแทรกซึม ใช้ทดสอบรอยความไม่ต่อเนื่องที่อยู่ที่ผิวหรือเปิดสู่ผิวเท่านั้น ใช้หลักการอากัปกิริยาท่อเล็ก (Capillary action) ดูดสารแทรกซึมลงไปในรอยความไม่ต่อเนื่อง ซึ่งแรงดึงดูดจากอากัปกิริยาท่อเล็กจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของรอยความไม่ต่อเนื่อง และสมบัติของสารแทรกซึม ได้แก่ ความตึงผิว (Surface tension) และความสามารถในการเปียก (Wetting ability) โดยสารแทรกซึมที่ดีต้องมีแรงตึงผิวต่ำ และมีความสามารถในการเปียกสูง โดยวิธีการทดสอบโดยวิธีสารแทรกซึม แสดงดังรูปที่ 2.1




**รูปที่ 2.1** ขั้นตอนการทดสอบโดยวิธีสารแทรกซึม (NDT Resource center. “NDT Course Material”, 2016)

โดยที่สารแทรกซึมที่ใช้อยู่ในปัจจุบันแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ตามชนิดของการมองเห็นคือ

1) ชนิดวาวแสงหรือเรืองแสง (Fluorescent dye)
2) ชนิดย้อมสีหรือมองเห็นด้วยตาเปล่า (Visible dye or Color contrast dye)

**สารแทรกซึมชนิดวาวแสง** เป็นสารแทรกซึมชนิดที่มองเห็นภายใต้แสงแบล็กไลต์ โดยความเข้มของแสงแบล็กไลต์ต้องมีความสว่างไม่ต่ำกว่า 1,000 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ตามข้อกำหนดของ ASME Section V: article 6 และไม่น้อยกว่า 12 วัตต์ต่อตารางเมตร บนผิวหน้าชิ้นงานตามมาตรฐาน มอก. 1324 ก่อนการทดสอบต้องเปิดแบล็กไลต์ไว้อย่างน้อย 5 นาที และผู้ปฏิบัติงานทดสอบควรปรับตาสายตาโดยอยู่ในบริเวณที่มืดอย่างน้อย 5 นาที

**สารแทรกซึมชนิดย้อมสี** เป็นสารแทรกซึมชนิดที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า โดยปกติมักมีสีแดงเพื่อตัดกับสีของดีเวลอเปอร์ซึ่งเป็นสีขาว สาเหตุที่ใช้สีแดงตัดกับสีขาวเนื่องจากทำให้เกิดการมองเห็นได้ชัดเจนที่สุด แสงสว่างที่ใช้ช่วยในการมองเห็น โดยความเข้มของแสงต้องไม่ต่ำกว่า 1000 ลักซ์ ตามข้อกำหนด ASME Section V: article 6 ความไวในการทดสอบ (Sensitivity) น้อยกว่าการใช้สารแทรกซึมชนิดวาวแสงเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปในงานสนามมักเลือกใช้สารแทรกซึมชนิดย้อมสี เพราะไม่ต้องจัดทำให้บริเวณที่ทดสอบเป็นที่มืด

ชนิดของน้ำยาแทรกซึมและการกำจัดออก โดยที่น้ำยาแทรกซึมแบ่งตามชนิดของการกำจัดออกได้ 3 ชนิด คือ

1) ชนิดล้างออกได้ด้วยน้ำ (Water washable)
2) ชนิดล้างออกได้โดยการใช้อิมัลซิฟายเออร์ (Post emulsifier)
3) ชนิดเช็ดออกได้ด้วยตัวทำละลาย (Solvent removable)

**การกำจัดสารแทรกซึมโดยการล้างออกด้วยน้ำ** โดยพ่นน้ำเป็นฝอยที่ความดันไม่เกิน 50 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และอุณหภูมิของน้ำต้องไม่เกิน 43 °C ตามข้อกำหนดของ ASME Section V: article 6 และความดันของน้ำต้องไม่เกิน 275 กิโลพาสคัล และอุณหภูมิของน้ำต้องอยู่ระหว่าง 10-38 °C ให้หัวฉีดห่างจากชิ้นงานไม่น้อยกว่า 30 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน มอก. 1324

**การกำจัดสารแทรกซึมโดยการใช้อิมัลซิฟายเออร์** ใช้เคลือบชิ้นงานหลังจากครบระยะเวลาแทรกซึมแล้ว เวลาที่ใช้เคลือบอิมัลซิฟายเออร์ต้องควบคุมไม่ให้นานเกินไป ซึ่งมีโอกาสทำให้ล้างสารแทรกซึมออกมากเกินไป ซึ่งเวลาที่เหมาะสมดูได้จากคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต ประกอบกับการทดลองหาเวลาที่เหมาะสม โดยอิมัลซิฟายเออร์มี 2 ชนิด คือ ชนิดน้ำมัน และชนิดน้ำ อิมัลซิฟายเออร์ชนิดน้ำมันจะทำหน้าที่ผสมเข้ากับสารแทรกซึม ทำให้สารแทรกซึมนั้นมีสมบัติล้างออกได้ ส่วนอิมัลซิฟายเออร์ชนิดน้ำนั้นจะไม่ผสมเข้ากับสารแทรกซึมโดยตรง แต่ทำหน้าที่ลดแรงตึงผิวของสารแทรกซึม ทำให้สามารถล้างน้ำออกได้

**การกำจัดสารแทรกซึมโดยการเช็ดออกด้วยตัวทำละลาย** ตัวทำละลายมีส่วนประกอบของเมทิลีนคลอไรด์ (Methylene chloride) ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (Isopropyl alcohol) และทินเนอร์ การเลือกใช้ต้องใช้ตามชนิดของน้ำยาแทรกซึม การกำจัดด้วยตัวทำละลายต้องไม่ฉีดหรือพ่นตัวทำละลายลงบนชิ้นงานโดยตรง ต้องฉีดใส่ผ้าพอหมาดๆ แล้วเช็ดออก การทดสอบว่าเช็ดออกหมดหรือไม่ให้ดูว่าไม่มีสีของสารแทรกซึมติดออกมากับผ้าที่เช็ดหรือไม่ ดังนั้นผ้าที่ใช้เช็ดควรมีสีขาวและไม่มีขน ถ้าเป็นสารแทรกซึมแบบเรืองแสงต้องมองดูภายใต้แสงแบล็กไลต์

ชนิดของสารสร้างภาพ (Developer) เป็นสารเคมีที่ดึงสารแทรกซึม มาแสดงภาพเป็นรอยบ่งชี้ของรอยความไม่ต่อเนื่องนั้นๆ แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

1) แบบแห้ง (Dry developer)
2) แบบเปียก (Wet developer)

ซึ่งแบบเปียก สามารถแบ่งย่อยออกได้เป็น 3 ชนิดคือ

- **ชนิดแขวนลอยอยู่ในน้ำ (Water suspension of powder)** เวลาใช้ต้องกวนให้ผงที่แขวนลอยอยู่เข้ากันกับน้ำ ชนิดนี้มีความไวในการทดสอบต่ำ
- **ชนิดละลายในน้ำ (Developer soluble in water)** มีความไวในการทดสอบดีกว่าแบบแรก
- **ชนิดที่แขวนลอยอยู่ในตัวทำละลาย (Solvent suspension of powder)** บางครั้งสารสร้างภาพชนิดนี้ แบ่งเป็นชนิดที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก (Aqueous) และชนิดที่ไม่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ (Non-aqueous) โดยสารสร้างภาพชนิดที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก และชนิดแขวนลอยอยู่ในน้ำรวมทั้งชนิดละลายในน้ำข้างต้นสามารถใช้กับชิ้นงานที่ยังเปียกอยู่หลังจากผ่านการชำระล้างด้วยน้ำมาโดยที่ไม่ต้องรอให้แห้ง

สำหรับสารสร้างภาพชนิดที่ไม่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ ใช้กับชิ้นงานได้ก็ต่อเมื่อทำให้ผิวชิ้นงานนั้นแห้งสนิทเสียก่อน

ระยะเวลาแทรกซึมที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ กระบวนการผลิต และชนิดรอยความไม่ต่อเนื่อง โดยเวลาที่เหมาะสมตามข้อกำหนดของ ASME ดังตารางที่ 2.1

กรณีที่ระยะเวลาแทรกซึมเกิน 2 ชั่วโมง ควรทำความสะอาดชิ้นงาน และเริ่มทำการทดสอบตามขั้นตอนใหม่ทั้งหมดอีกครั้ง เพื่อป้องกันไม่ให้สารแทรกซึมแห้งหรือเสื่อมสภาพ และในกรณีที่ใช้การจุ่มชิ้นงานลงในสารแทรกซึม เวลาของการจุ่มต้องไม่เกินครึ่งหนึ่งของระยะเวลาแทรกซึมตามมาตรฐาน มอก. 1324 ส่วนระยะเวลาที่เหมาะสมของสารสร้างภาพ คือประมาณครึ่งหนึ่งของระยะเวลาแทรกซึม แต่ไม่ต่ำกว่า 10 นาที และไม่เกิน 60 นาที ตามข้อกำหนดของ ASME Section V

**ตารางที่ 2.1** ระยะเวลาในการแทรกซึมต่ำสุดตามมาตรฐาน ASME (อาษา ประทีปเสน, 2550)

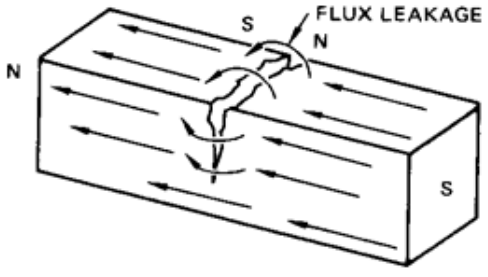
| วัสดุ | ลักษณะของงาน | ชนิดรอยความไม่ต่อเนื่อง | ระยะเวลาในการแทรกซึม (Dwell time) | เวลาในการรอการสร้างภาพ (Developer time) |
|---|---|---|---|---|
| อลูมิเนียม แมกนีเซียม เหล็ก ทองเหลืองและ บรอนซ์ ไทเทเนียม | - กระบวนการหล่อ<br>- การเชื่อม | โคลชัต รูพรุน การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ รอยร้าว (ทุกลักษณะของงาน) | 5 | 10 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| และเหล็กทน อุณหภูมิสูง | Wrought materials extrusions, Forgings, Plate | รอยเกย รอยร้าว (ทุกลักษณะของงาน) | 10 | 10 |
| มีดคาร์ไบด์ | | การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ รูพรุน รอยร้าว | 5 | 10 |
| พลาสติก | กระบวนการทุกชนิด | รอยร้าว | 5 | 10 |
| แก้ว | กระบวนการทุกชนิด | รอยร้าว | 5 | 10 |
| เซรามิก | กระบวนการทุกชนิด | รอยร้าว | 5 | 10 |

**หมายเหตุ:** สำหรับในช่วงอุณหภูมิ 50 -125 °F (10-52 °C) สำหรับอุณหภูมิในช่วงระหว่าง 5-10 °C ระยะเวลาแทรกซึมที่ต่ำที่สุดจะต้องมีค่าเป็น 2 เท่าของค่าที่กำหนดไว้ในตาราง

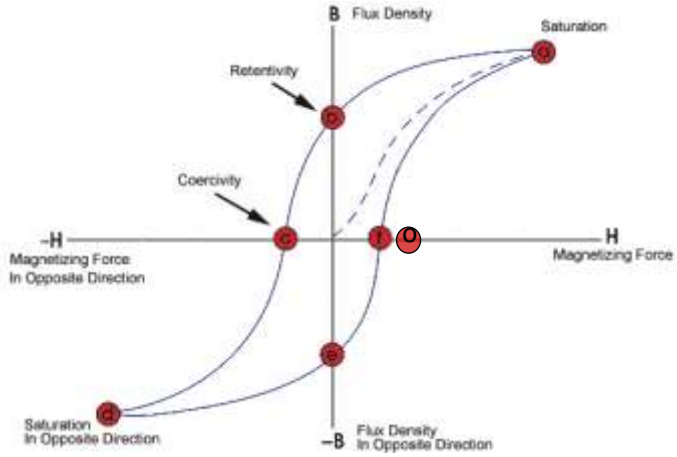
**3. การทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก (อาษา ประทีปเสน, 2550)**

การทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก ใช้กับวัสดุที่สามารถทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กได้เท่านั้น เช่น เหล็ก เป็นต้น โดยการทดสอบนี้ไม่สามารถทดสอบวัสดุที่ไม่สามารถเหนี่ยวนำเป็นแม่เหล็กได้ ใช้หลักการในการทดสอบคือ เมื่อเหนี่ยวนำชิ้นงานให้เกิดอำนาจแม่เหล็ก พบว่าบริเวณที่มีรอยความไม่ต่อเนื่องจะเกิดการรั่วของเส้นแรงแม่เหล็ก ทำให้เกิดเป็นขั้วแม่เหล็ก ดังรูปที่ 2.2 สามารถดูดผงเหล็กขนาดเล็กให้ไปรวมตัวกันที่บริเวณรอยความไม่ต่อเนื่องนั้น จากการสังเกตการรวมตัวของผงเหล็กทำให้สามารถทดสอบรอยความไม่ต่อเนื่องได้ การทดสอบวิธีนี้เหมาะกับรอยความไม่ต่อเนื่องที่เปิดสู่ผิว สามารถทดสอบรอยความไม่ต่อเนื่องที่อยู่ใต้ผิวเล็กน้อย แต่มีความไวในการทดสอบต่ำลง เมื่อพิจารณาแนวการวางตัวของรอยความไม่ต่อเนื่องพบว่า รอยความไม่ต่อเนื่องที่มีการวางตัวตัดขวางกับทิศของเส้นแรงแม่เหล็กสามารถทำให้เกิดการรั่วของเส้นแรงแม่เหล็กได้มากที่สุด สามารถดึงดูดผงเหล็กไว้ได้มากที่สุดด้วย จึงเป็นกรณีที่มีความไวในการทดสอบสูงที่สุด การวางตัวของรอยความไม่ต่อเนื่องขนานกับทิศของเส้นแรงแม่เหล็กย่อมทำให้เกิดการรั่วของเส้นแรงแม่เหล็กน้อย ทำให้ความไวในการทดสอบต่ำ




**รูปที่ 2.2** การรั่วไหลของสนามแม่เหล็ก (NDT Resource center. “NDT Course Material”, 2016)

วัสดุเฟอร์โรแมกเนติกทุกชนิดมีสมบัติเฉพาะตัวทางแม่เหล็ก ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยเส้นโค้งฮิสเทอรีซิสแม่เหล็ก ดังรูปที่ 2.3 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความเข้มของสนามแม่เหล็ก (Magnetic field strength: H) กับความหนาแน่นของฟลักซ์ (Flux density: B)




**รูปที่ 2.3** ฮีสเทอรีซิสแม่เหล็ก (NDT Resource center. “NDT Course Material”, 2016)

จากรูปที่ 2.3 เมื่อเพิ่มความเข้มสนามแม่เหล็กทีละน้อย ความหนาแน่นของฟลักซ์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในตอนต้น และเพิ่มขึ้นช้า ๆ จนถึงจุด a โดยเรียกจุด a ว่า จุดอิ่มตัว (Saturated point) ซึ่งเป็นจุดที่ถึงแม้เพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็กอีกเท่าไร ความหนาแน่นของฟลักซ์ก็จะไม่เพิ่มขึ้น เส้น oa จะเป็นช่วงที่แสดงถึงตอนเริ่มต้นของการปล่อยสนามแม่เหล็ก เมื่อลดสนามแม่เหล็กจนเท่ากับศูนย์ (จุด b) ความหนาแน่นของฟลักซ์ค่อยๆ ลดลง แต่จะไม่ลดลงเป็นศูนย์ เนื่องจากมีปริมาณสนามแม่เหล็กตกค้างซึ่งเป็นความสามารถของวัสดุเฟอร์โรแมกเนติกคงค่าสนามแม่เหล็กเอาไว้ (ob) เรียกว่า รีเทนติวิตี (Retentivity) ถ้าต้องการกำจัดสนามแม่เหล็กตกค้าง ต้องให้สนามแม่เหล็กในทิศตรงกันข้ามกับในทิศเริ่มต้น (oc) โดยปริมาณของสนามแม่เหล็กที่ทำให้ความหนาแน่นของฟลักซ์ลดลงเป็นศูนย์ เรียกว่า โคเออซีฟฟอร์ซ (Coercive force) ซึ่งเป็นค่าที่พิจารณาเมื่อนำไปทำการคลายอำนาจแม่เหล็กให้กับวัสดุเฟอร์ไรแมกเนติก เมื่อกลับทิศของสนามแม่เหล็ก ฟลักซ์ของแม่เหล็กเกิดการเปลี่ยนขั้วและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในตอนเริ่มต้น และเพิ่มขึ้นช้า ๆ จนถึงจุด d (จุดอิ่มตัวในทิศทางตรงกันข้ามกับจุด a) เมื่อลดปริมาณสนามแม่เหล็กจนเป็นศูนย์ (จุด e) โดย oe คือปริมาณแม่เหล็กตกค้างที่มีทิศทางตรงกันข้ามกับ ob และการที่จะทำให้สนามแม่เหล็กตกค้าง oe ลดลงเป็นศูนย์ ต้องใช้สนามแม่เหล็กที่มีขนาดเท่ากับ of

ค่าซึมซาบทางแม่เหล็ก (Magnetic permeability) เป็นสมบัติที่สำคัญมากที่สุดของวัสดุแม่เหล็ก บอกถึงความยากง่ายต่อการเหนี่ยวนำให้เป็นแม่เหล็ก ซึ่งสามารถหาได้จากสัดส่วนของความหนาแน่นฟลักซ์กับระดับความเข้มของสนามแม่เหล็ก (B/H) วัสดุที่มีค่าซึมซาบทางแม่เหล็กสูง จะมีค่าต่อต้านของ

วัสดุเมื่อได้รับสนามแม่เหล็ก (Reluctance) ค่ารีเทนติวิตีในการที่จะคงค่าสนามแม่เหล็กไว้ และมีปริมาณสนามแม่เหล็กตกค้างที่ต่ำ ซึ่งต้องการโคเออซีฟฟอร์ซที่มีขนาดต่ำในการคลายอำนาจแม่เหล็ก

**กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็ก**

กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเหนี่ยวนำให้เกิดอำนาจแม่เหล็ก สามารถใช้ได้ทั้งไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถทดสอบรอยความไม่ต่อเนื่องได้ทั้งที่ผิวและใต้ผิวชิ้นงาน ส่วนการใช้ไฟฟ้ากระแสสลับเหมาะกับการทดสอบรอยความไม่ต่อเนื่องที่ผิวชิ้นงาน

**การเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็ก**

ในการทดสอบด้วยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก ต้องเหนี่ยวนำชิ้นงานให้เกิดสนามแม่เหล็กอย่างน้อย 2 ทิศทาง ในทิศทางที่ตั้งฉากกัน เพื่อให้สามารถครอบคลุมโอกาสการเกิดรอยความไม่ต่อเนื่องได้ครบถ้วน การเหนี่ยวนำให้ชิ้นงานเกิดอำนาจแม่เหล็กสามารถทำได้โดยการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในชิ้นงานโดยตรง หรือใช้การเหนี่ยวนำโดยการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวดที่พันอยู่รอบแกนตัวนำทำให้เกิดสนามแม่เหล็กแล้วใช้สนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กในชิ้นงาน กรณีที่ใช้โยคในการทดสอบ เริ่มต้นการทดสอบโดยการยกน้ำหนักมาตรฐาน (น้ำหนัก 10 ปอนด์สำหรับกระแสไฟฟ้าสลับ และ 40 ปอนด์ สำหรับไฟฟ้ากระแสตรง) ซึ่งสามารถทดสอบความเพียงพอและความครอบคลุมพื้นที่ของอำนาจแม่เหล็กโดยการใช้อุปกรณ์ชี้วัดรูปพาย

**การฉีดพ่นอนุภาคแม่เหล็ก**

การฉีดพ่นอนุภาคแม่เหล็กจะทำหลังจากให้อำนาจแม่เหล็กลงไปอย่างน้อยไม่ต่ำกว่า 5 วินาที ซึ่งการทดสอบด้วยอนุภาคแม่เหล็กชนิดวาวแสง ต้องมีความเข้มการส่องสว่างของแสงแบล็กไลท์ไม่ต่ำกว่า 1000 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร บนผิวทดสอบ และกำหนดให้มีแสงสว่างภายนอกเล็ดลอดเข้ามาไม่เกิน 20 ลักซ์

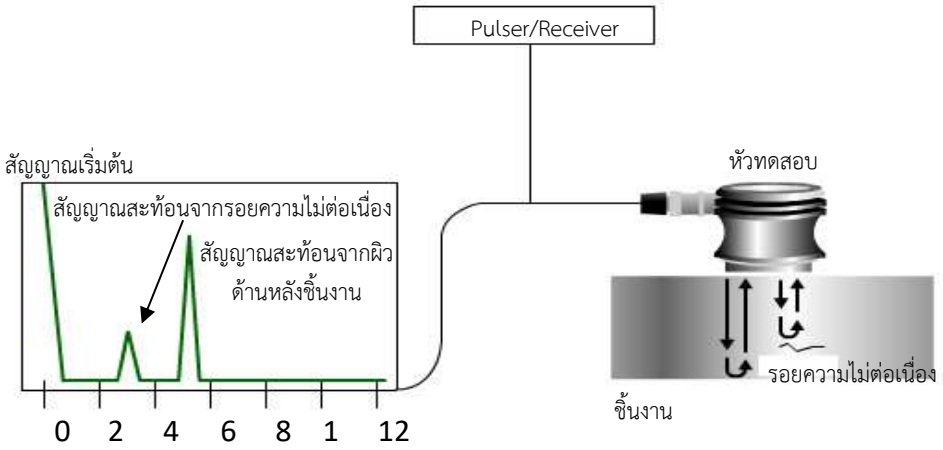
**การคลายอำนาจแม่เหล็ก**

หลังจากทดสอบด้วยวิธีนี้ มักมีอำนาจแม่เหล็กตกค้างในชิ้นงาน ซึ่งถ้าหากอำนาจแม่เหล็กนี้มีผลต่อการใช้งานสามารถทำลายอำนาจแม่เหล็กตกค้างนี้ได้ การทำลายอำนาจแม่เหล็กตกค้างทำได้หลายวิธี เช่น ผ่านชิ้นงานเข้าไปในสนามแม่เหล็กที่มีการกลับขั้วอยู่ตลอดเวลาแล้วค่อย ๆ ลดความเข้มของสนามแม่เหล็กลง ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่มีผลกระทบกับชิ้นงาน โดยการคลายหรือลดอำนาจแม่เหล็กไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณสนามแม่เหล็กตกค้าง แต่ขึ้นอยู่กับค่าโคเออซีฟฟอร์ซของวัสดุโดยตรง

**4. การทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง (อาษา ประทีปเสน, 2550)**

การทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง อาศัยการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงความถี่สูงผ่านวัสดุชิ้นงาน เมื่อกระทบกับรอยความไม่ต่อเนื่อง หรือผนังด้านหลังของชิ้นงาน จะเกิดการสะท้อนกลับ แสดงดังรูปที่ 2.4 เวลาที่คลื่นเสียงใช้ในการเคลื่อนที่และสะท้อนกลับจากตัวสะท้อนคลื่นเสียงไปยังตัวตรวจสอบจะให้สัญญาณที่แตกต่างกัน ระหว่างคลื่นเสียงที่สะท้อนจากผนังด้านหลังของชิ้นงาน และคลื่นเสียงที่สะท้อนจากรอยความไม่ต่อเนื่อง ทำให้สามารถทดสอบได้จากสัญญาณที่สะท้อนกลับมา จากการที่การสะท้อนกลับของคลื่นเสียงต้องการตัวสะท้อนสัญญาณ ดังนั้นการวางตัวของรอยความไม่

ต่อเนื่องจึงมีผลต่อการทดสอบ การวางตัวในแนวที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้ความไวในการทดสอบลดลง หรือทำให้การแปรผลผิดพลาด รอยความไม่ต่อเนื่องที่วางตัวในแนวตั้งฉากกับแนวการเคลื่อนที่ของสัญญาณคลื่นเสียงสามารถทำให้เกิดการสะท้อนคลื่นเสียงได้ดีที่สุด แต่หากตัวสะท้อนสัญญาณวางตัวในแนวอื่น อาจทำให้การสะท้อนสัญญาณไปในทิศทางอื่นหรือไม่เกิดการสะท้อนกลับของสัญญาณได้ ข้อได้เปรียบของการทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง สามารถใช้ได้กับชิ้นงานที่มีความหนามากได้และไม่จำกัดชนิดของรอยความไม่ต่อเนื่อง ใช้ได้กับวัสดุเกือบทุกชนิดที่มีคุณลักษณะสม่ำเสมอ อุปกรณ์มีน้ำหนักเบาเคลื่อนย้ายได้ง่าย เครื่องทดสอบรุ่นใหม่สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ได้ สูญเสียวัสดุสิ้นเปลืองน้อยเมื่อเทียบกับวิธีถ่ายภาพด้วยรังสี ข้อเสียเปรียบของการทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง คือ แนวการวางตัวของรอยความไม่ต่อเนื่องมีผลต่อการทดสอบ ต้องการการปรับเทียบเครื่องก่อนการทดสอบทุกครั้ง การแปลผลต้องใช้ความชำนาญและทักษะสูงทำให้ความน่าเชื่อถือของผลการทดสอบขึ้นอยู่กับความสามารถและประสบการณ์ของผู้ทดสอบด้วย




**รูปที่ 2.4** หลักการทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง (อาษา ประทีปเสน, 2550)

**หัวทดสอบ**

หัวทดสอบคลื่นเสียงความถี่สูง มีชื่อเรียกอยู่หลายชื่อ ได้แก่ ตัวส่งผ่าน (Transducer) หรือหัวทดสอบ (Probe) หรือตัวส่องหา (Search unit) ซึ่งทำหน้าที่รับและส่งคลื่นเสียงความถี่สูง ความสามารถของหัวทดสอบกล่าวได้ 2 ลักษณะ คือ ความไวในการทดสอบ (Sensitivity) และความสามารถในการแยกแยะ (Resolution)

**1) ความไว** คือ ความสามารถของหัวทดสอบที่สามารถทดสอบหารอยความไม่ต่อเนื่องขนาดเล็กได้ ความไวของหัวทดสอบสามารถวัดได้จากขนาดของแอมปลิจูด (Amplitude) โดยทดสอบได้จากแท่งสอบเทียบมาตรฐาน (Calibration block)

**2) การแยกแยะ** คือ ความสามารถของหัวทดสอบที่สามารถแยกแยะรอยความไม่ต่อเนื่องตั้งแต่ 2 ตำแหน่งขึ้นไป ที่อยู่ในระดับความลึกที่ใกล้กันได้ดี

**ชนิดของหัวทดสอบ**

**1) หัวทดสอบแบบตรง (Normal probe หรือ Straight beam)** คลื่นเสียงความถี่สูงที่ใช้เป็นคลื่นเสียงความถี่สูงตามยาวใช้ทดสอบความหนาของชิ้นงานหรือรอยความไม่ต่อเนื่องที่มีทิศทางขนานกับผิวของชิ้นงาน โดยที่หัวทดสอบความถี่ 5 เมกะเฮิรตซ์ มีความไวในการทดสอบสูงกว่า 2 เมกะเฮิรตซ์ เหมาะสำหรับหารอยความไม่ต่อเนื่อง ขนาดเล็ก และมีความสามารถในการแยกแยะสูงกว่าส่วนหัวทดสอบความถี่ 2 เมกะเฮิรตซ์ มีไว้ใช้เพื่อทำให้การลดทอนพลังงานคลื่นเสียงความถี่สูงลดลง

**2) หัวทดสอบแบบเอียงหรือมุม (Angle probe หรือ Angle beam)** คลื่นเสียงความถี่สูงที่ใช้เป็นคลื่นเสียงความถี่สูงตามขวาง ใช้ทดสอบรอยความไม่ต่อเนื่องที่วางอยู่ในแนวเอียงกับผิวของชิ้นงาน หรือทดสอบในบริเวณที่ใช้ทดสอบแบบหัวตรงไม่ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานเชื่อม จำเป็นต้องใช้หัวทดสอบแบบเอียงหรือมุม เพื่อสร้างคลื่นเสียงความถี่สูงตามขวางสำหรับทดสอบรอยความไม่ต่อเนื่องบริเวณรอยเชื่อม

**การเลือกใช้หัวทดสอบให้เหมาะสมกับงาน**

1) การเลือกขนาดความถี่ของหัวทดสอบ ถ้าเลือกความถี่สูงขึ้น ทำให้ความไวในการทดสอบสูงขึ้น และมีความสามารถในการแยกแยะที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตามความถี่สูงไม่เหมาะกับงานที่มีความหนามาก ๆ และมีการลดทอนพลังงานที่สูงหรือเกรนที่หยาบ

2) การเลือกชนิดของหัวทดสอบ ขึ้นกับลักษณะของงาน เช่น ในกรณีที่วัดความหนาชิ้นงานที่เป็นแผ่นหนาควรใช้หัวทดสอบแบบตรง หรือใช้แบบเอียงกรณีทดสอบรอยเชื่อม

3) การเลือกขนาดของหัวทดสอบ มีผลต่อระยะเขตใกล้ (Near zone) และค่าของมุมบาน ถ้าขนาดใหญ่ขึ้นระยะเขตใกล้จะมากขึ้น แต่การลดทอนของพลังงานจะลดทอนน้อยลง ขนาดหัวทดสอบขนาดเล็กสามารถสัมผัสชิ้นงานที่มีความโค้งได้ดีกว่า แต่ให้การทดสอบที่ช้ากว่า

**เทคนิคการทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง**

เทคนิคการทดสอบที่นิยมมี 2 วิธี คือ

**1) เทคนิคการสะท้อนคลื่นสัญญาณพัลส์ (Pulse echo)**

เทคนิคนี้ใช้หัวทดสอบเพียงหัวเดียว ทำโดยการส่งคลื่นเสียงความถี่สูงเข้าไปในชิ้นงาน และวัดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายในชิ้นงานทดสอบ โดยการประเมินผลจากคลื่นเสียงความถี่สูงที่สะท้อนกลับมาจากบริเวณพื้นที่ขอบเขตหรือบริเวณรอยความไม่ต่อเนื่อง แล้วใช้การประเมินผลโดยการแปลงสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ มี 2 ค่าที่สนใจคือ เวลาที่คลื่นเสียงความถี่สูงเดินทางจากผิวไปจนถึงตัวสะท้อน (Reflector) และความแรงของสัญญาณสะท้อน ซึ่งเวลาที่คลื่นเสียงความถี่สูงเดินทางใช้แทนความลึกของตัวสะท้อน ส่วนความแรงของสัญญาณสะท้อนให้แทนความสามารถในการสะท้อนของตัวสะท้อนที่ค้นพบ

**2) เทคนิคการแยกส่งและรับ (Through transmission)**

ใช้หัวทดสอบ จำนวน 2 หัว วางในระยะห่างที่เหมาะสมเพื่อแยกกันทำหน้าที่เป็นตัวส่งคลื่นเสียงความถี่สูง (Transmission probe) และตัวรับคลื่นเสียงความถี่สูง (Receiver probe) สามารถใช้ได้ทั้งคลื่นเสียงความถี่สูงตามยาวและตามขวาง หากชิ้นงานมีรอยความไม่ต่อเนื่อง คลื่นเสียงความถี่สูงจะ

สะท้อนและหักเห ทำให้หัวรับไม่ได้รับคลื่นเสียงความถี่สูง เทคนิคนี้ ไม่สามารถระบุความลึกของรอยความไม่ต่อเนื่องได้

**การลดทอนของเสียง (Sound attenuation)**

การลดทอนของเสียง หมายถึง การที่เสียงมีพลังงานลดลงเมื่อเสียงเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในตัวกลาง การลดทอนของเสียงขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ 2 ประการ คือ มุมบาน และการลดทอนเนื่องจากวัสดุ (Material attenuation)

**มุมบาน** เป็นองค์ประกอบสำคัญในการลดทอนเมื่อมุมบานมากขึ้นทำให้พลังงานกระจาย ไปในบริเวณที่กว้างทำให้ระดับพลังงานที่ตรงบริเวณกึ่งกลางลำคลื่นลดลง

**การลดทอนเนื่องจากวัสดุ** อาจเนื่องมาจากการกระเจิง เนื่องจากคลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่านเกรนและสะท้อนที่ขอบของเกรน

**5. การทดสอบโดยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสี (อาษา ประทีปเสน, 2550)**

การทดสอบโดยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสี เป็นการปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงจากต้นกำเนิดรังสีผ่านชิ้นงาน อาศัยหลักการดูดซับพลังงานที่ไม่เท่ากันของวัสดุ หรือการที่ในแต่ละตำแหน่งของวัสดุที่มีความหนาแน่นไม่เท่ากัน เช่น มีโพรงอากาศอยู่ภายใน ทำให้พลังงานของรังสีผ่านชิ้นงานตรงบริเวณที่เป็นโพรงไปได้มากกว่า และเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารไวแสงที่เคลือบอยู่บนฟิล์มได้มากกว่าส่วนอื่น เมื่อล้างฟิล์มออกมาแล้วจึงมีสีคล้ำกว่าบริเวณอื่น ดังนั้นการถ่ายภาพด้วยรังสีจึงเป็นการแปลผลจากเงาของภาพของชิ้นงานที่ปรากฏอยู่บนฟิล์ม รังสีที่ใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสีทั่วไป ได้แก่ รังสีเอกซ์ และรังสีแกมมา

**รังสีแกมมา** เป็นสารกัมมันตรังสีพลังงานที่ได้เกิดจากการสลายตัวของนิวเคลียส บางครั้งเรียกพลังงานเฉพาะที่ปลดปล่อยออกมาจากรังสีแกมมาว่า โฟตอน (Photon) มักใช้ในงานภาคสนามในอุตสาหกรรม เนื่องจากมีน้ำหนักเบา พกพาง่าย รังสีที่นิยมใช้ เช่น อิริเดียม 192 ซึ่งรังสีแกมมาจะปลดปล่อยรังสีออกมาตลอดเวลาแม้ไม่ได้ทำการทดสอบ

**รังสีเอกซ์** เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แต่เป็นพลังงานที่ได้จากอิเล็กตรอนรอบๆ วงโคจรของอะตอม ในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ ตัวแปรที่ต้องทำการควบคุมคือ ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้กับไส้หลอด (มิลลิแอมแปร์) จำนวนอิเล็กตรอนจะแปรผันตามขนาดของกระแสไฟฟ้า อีกตัวแปรคือ ความต่างศักย์ระหว่างขั้วบวกและขั้วลบ ซึ่งเป็นตัวกำหนดความเร็วของอิเล็กตรอนที่วิ่งเข้าชนเป้าทังสเตน โดยปกติในอุตสาหกรรมจะอยู่ในช่วง 100-400 กิโลโวลต์ ตัวแปรสุดท้ายคือ ระยะเวลาในการฉายรังสี ซึ่งทั้ง 3 ตัวแปร ผู้ปฏิบัติงานทดสอบต้องมีวิธีกำหนดอย่างเหมาะสม เพื่อให้ผลของการทดสอบมีคุณภาพสูง

**ฟิล์มสำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสี** ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ

1) พลาสติกใสพอลิเอสเตอร์ หรือแอซีเทต อยู่ตรงกลาง

2) สารไวแสงซึ่งเป็นชั้นที่มีอิมัลชัน (Emulsion) เคลือบอยู่ ทำหน้าที่สร้างภาพให้กับฟิล์มเมื่อมีรังสีมาตกกระทบ

3) สารเคลือบป้องกันการขีดข่วน ซึ่งเป็นชั้นของเจลาติน (Gelatin) เพื่อป้องกันการขีดข่วน

**ความไวในการทดสอบ** หมายถึง รอยความไม่ต่อเนื่องที่เล็กที่สุดที่สามารถมองเห็นได้ในฟิล์ม ในการทดสอบถ่ายภาพด้วยรังสีในอุตสาหกรรมใช้ไอคิวไอ เป็นตัวชี้วัดความไวในการทดสอบ ซึ่งความไวในการทดสอบขึ้นอยู่กับค่าความเปรียบต่าง (Contrast) และความคมชัดของเส้นขอบ (Definition)

1) ค่าความเปรียบต่าง หมายถึง ค่าความแตกต่างของความเข้มในบริเวณระหว่างพื้นที่ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากรูปร่างของชิ้นงาน หรืออาจเกิดจากชนิดของฟิล์ม การลดระดับพลังงานของรังสีในขณะถ่ายภาพด้วยรังสีส่งผลทำให้ค่าความเปรียบต่างสูงขึ้น

2) ความคมชัดของภาพ

**ตัวแปรที่มีผลต่อความไวในการทดสอบ**

1) การกระเจิงของการแผ่รังสี เกิดจากการเปลี่ยนทิศของรังสี ทำให้ค่าความเปรียบต่างและละติจูดต่ำลง

2) รูปร่างของชิ้นงานมีผลต่อความคมชัดของเส้นขอบ ชิ้นงานที่มีความหนาแตกต่างกันมากจะมีความคมชัดของเส้นขอบที่สูงกว่าชิ้นงานที่ค่อย ๆ เปลี่ยนแปลงความหนา

3) ความละเอียดของเกรนของฟิล์ม ฟิล์มที่มีเกรนใหญ่จะเป็นฟิล์มเร็ว แต่ฟิล์มที่มีเกรนละเอียดจะให้ความคมชัดของเส้นขอบที่ดีกว่า

4) ความไม่คมชัดทางเรขาคณิต หมายถึง การที่ภาพเกิดความไม่คมชัดบริเวณที่ขอบชิ้นงาน ซึ่งสามารถกำจัดได้โดยลดขนาดของแหล่งกำเนิดรังสี เพิ่มระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดรังสีกับชิ้นงาน และลดระยะระหว่างชิ้นงานกับฟิล์ม

**การวัดคุณภาพของฟิล์ม**

การวัดคุณภาพของฟิล์ม ตามมาตรฐานกำหนดให้ตรวจค่าความเข้มของฟิล์มด้วยเดนซิโตมิเตอร์ เพื่อดูว่าฟิล์มมีความเข้มอยู่ในช่วงที่มาตรฐานกำหนดหรือไม่ และตรวจดูไอคิวไอ ว่ามองเห็นตามค่าความไวในการทดสอบที่กำหนดไว้หรือไม่ โดยการวางไอคิวไอมักวางไว้ด้านแหล่งกำเนิดรังสีเสมอ เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่มองเห็นได้ยากที่สุด และวางไว้ด้านฟิล์มกรณีที่ไม่สามารถวางที่ด้านแหล่งกำเนิดรังสีได้ ซึ่งไอคิวไอมีลักษณะดังรูปที่ 2.5

**รูปที่ 2.5** ไอคิวไอตามมาตรฐาน ASTM (NDT Resource center. “NDT Course Material”, 2016)

**อันตรายจากรังสีและการป้องกัน**

รังสีแกมมาและรังสีเอกซ์เป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อหรือเซลล์ของสิ่งมีชีวิต เมื่อได้รับรังสีเป็นปริมาณมาก ๆ เกิดการสะสม และการเกิดไอออไนเซชัน (Ionization) เกิดการสูญเสียอิเล็กตรอน ทำให้เซลล์ของสิ่งมีชีวิตตาย หรืออาจไม่สามารถสร้างเซลล์ขึ้นใหม่ได้

ผู้ปฏิบัติงานทดสอบโดยวิธีการถ่ายภาพด้วยรังสี ต้องระมัดระวังไม่ให้ได้รับรังสีเกินกว่า 2.5 มิลลิเรินต์เกนต่อชั่วโมง โดยวัดปริมาณรังสีได้โดยมิเตอร์สำรวจ (Survey meter) ดังรูปที่ 2.6 และผลรวมของปริมาณรังสีต้องไม่เกิน 5 เรมต่อการทำงาน 1 ปี เครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณการรับรังสี คือ ฟิล์มแบจ (Film badge) หรือโดสมิเตอร์ (Direct reading dose meter) ดังรูปที่ 2.7 กรณีบุคคลภายนอกที่ไม่ได้เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงานเกี่ยวกับรังสี ตามมาตรฐานกำหนดต้องได้รับรังสีต่ำกว่าผู้ปฏิบัติงานเป็นปริมาณ 10 เท่า หรือคิดเป็นอัตรา 0.25 มิลลิเรินต์เกนต่อชั่วโมงและปริมาณรวมไม่เกิน 0.5 เรมต่อปี

**รูปที่ 2.6** มิเตอร์สำรวจ (NDT Resource center. “NDT Course Material”, 2016)

**รูปที่ 2.7** โดสมิเตอร์ (NDT Resource center. “NDT Course Material”, 2016)

**การป้องกันการรับรังสี**

การจำกัดปริมาณรังสีให้ได้รับรังสีน้อยที่สุด หรืออยู่ในขีดที่ยอมรับได้สามารถทำได้ดังนี้

1) ลดเวลาการรับรังสี ให้สั้นที่สุดเท่าที่ทำได้

2) เพิ่มระยะห่างจากแหล่งกำเนิดรังสี ความเข้มของรังสีจะลดลงตามกฎผกผันกำลังสองใช้วัสดุกำบังรังสี

## 2.2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ประเทศไทยได้มีการร่างมาตรฐาน มอก. 9712 การทดสอบโดยไม่ทำลาย คุณสมบัติและการรับรองบุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลาย (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.9712-2550, 2551) โดยแปลมาจากมาตรฐานสากล ISO 9712: 2005 Nondestructive Testing – Qualification and Certification of Personnel ซึ่งเป็นมาตรฐานที่มีเนื้อหาเกี่ยวกับคำแนะนำด้านการกำหนดคุณสมบัติ ประสบการณ์ และการทดสอบความรู้ของผู้ปฏิบัติงานด้านการทดสอบโดยไม่ทำลาย มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นแนวทางในการรับรองบุคลากรและการทดสอบความสามารถของผู้ปฏิบัติงานที่ใช้ในประเทศมีมาตรฐานเดียวกันและเป็นที่ยอมรับในระดับสากล การรับรองบุคลากรในแต่ละมาตรฐานจะแบ่งความสามารถของบุคลากรออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับ 1 ระดับ 2 และระดับ 3 ตามลำดับ โดยที่ระดับ 3 เป็นระดับสูงสุด และมีคำแนะนำเกี่ยวกับคุณสมบัติ (Qualification) ซึ่งประกอบด้วยคุณลักษณะทางกายภาพ (Physical) ความรู้ (Knowledge) ทักษะ (Skill) การฝึกอบรม (Training) และประสบการณ์ (Experience) ที่บุคลากรจำเป็นต้องมี ก่อนที่จะเข้ามาสอบเพื่อรับการรับรอง (Certification) ในระดับต่าง ๆ เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานการทดสอบโดยไม่ทำลายได้อย่างถูกต้อง นอกจากนั้นมาตรฐานยังได้กำหนดจำนวนข้อสอบ จำนวนชิ้นงานที่ใช้สอบภาคปฏิบัติและวิธีการคิดคะแนนการสอบผ่านทั้งในภาคทฤษฎีและปฏิบัติเอาไว้ด้วย (อาษา ประทีปเสน, 2550) โดยคุณสมบัติของบุคลากรในแต่ละระดับของมาตรฐานไทย (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.9712-2550, 2551, อาษา ประทีปเสน, 2550, The American Society for Nondestructive Testing, 2011) มีดังต่อไปนี้

**1) บุคลากรระดับ 1**

บุคลากรที่ผ่านการรับรองการทดสอบโดยไม่ทำลายระดับ 1 ต้องแสดงความรู้ความสามารถในการดำเนินการทดสอบโดยไม่ทำลายตามวิธีปฏิบัติงานการทดสอบโดยไม่ทำลายได้ และต้องปฏิบัติงานภายใต้การกำกับดูแลของบุคลากรการทดสอบโดยไม่ทำลายระดับ 2 หรือ ระดับ 3 ภายใต้ขอบเขตความรู้ความสามารถที่ระบุไว้ในใบรับรอง บุคลากรการทดสอบโดยไม่ทำลาย ระดับ 1 อาจได้รับการอนุญาตจากนายจ้างให้ปฏิบัติงานต่อไปนี้ตามวิธีการทดสอบโดยไม่ทำลายที่ผ่านการรับรอง โดยสามารถดำเนินงานได้ดังนี้

- ตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือการทดสอบโดยไม่ทำลาย
- ดำเนินการทดสอบ
- บันทึกผล และจัดระบบการรายงานผลการทดสอบ
- รายงานผลการทดสอบ

บุคลากรที่ผ่านการรับรองระดับ 1 ไม่สามารถเลือกวิธีการทดสอบ หรือเทคนิคการทดสอบที่จะใช้หรือประเมินผลการทดสอบได้

**2) บุคลากรระดับ 2**

บุคลากรที่ผ่านการรับรองการทดสอบโดยไม่ทำลายระดับ 2 ต้องแสดงความรู้ความสามารถในการดำเนินการทดสอบโดยไม่ทำลายตามวิธีการปฏิบัติงานที่กำหนดไว้ภายใต้ขอบเขตของความรู้ความสามารถที่ระบุไว้ในใบรับรอง บุคลากรการทดสอบโดยไม่ทำลายระดับ 2 อาจได้รับอนุญาตจากนายจ้างให้ปฏิบัติงานดังต่อไปนี้

- เลือกเทคนิคการทดสอบโดยไม่ทำลาย ในวิธีทดสอบที่ใช้
- ระบุข้อจำกัดของการใช้วิธีการทดสอบนั้น ๆ
- กฎข้อบังคับการทดสอบโดยไม่ทำลาย มาตรฐาน ข้อกำหนด และวิธีการปฏิบัติงานเพื่อนำไปเป็นคำแนะนำการปฏิบัติงานการทดสอบโดยไม่ทำลาย ซึ่งถูกนำไปปรับใช้กับสภาพการทำงานจริง
- ตั้งและทดสอบการปรับตั้งค่าอุปกรณ์ และเครื่องมือ
- ดำเนินการ และกำกับดูแลการทดสอบ
- ตีความ และประเมินผลการทดสอบตามกฎข้อบังคับ มาตรฐาน ข้อกำหนด หรือวิธีการปฏิบัติงานการทดสอบโดยไม่ทำลายที่เกี่ยวข้อง
- เตรียมคำแนะนำการปฏิบัติงานการทดสอบโดยไม่ทำลาย ดำเนินการ กำกับดูแลงานทุกอย่างสำหรับบุคลากรการทดสอบโดยไม่ทำลายระดับ 2 หรือต่ำกว่าระดับ 2 และให้คำแนะนำแก่บุคลากรการทดสอบโดยไม่ทำลายระดับ 2 หรือต่ำกว่าระดับ 2
- รายงานผลการทดสอบโดยไม่ทำลาย

**3) บุคลากรระดับ 3**

บุคลากรที่ผ่านการรับรองการทดสอบโดยไม่ทำลายระดับ 3 ต้องแสดงความรู้ความสามารถในการดำเนินการ และกำกับการปฏิบัติงานการทดสอบโดยไม่ทำลาย ตามวิธีการที่ได้รับการรับรองภายใต้ขอบเขตความรู้ความสามารถตามที่ระบุไว้ในใบรับรอง บุคลากรที่ได้รับการรับรองการทดสอบโดยไม่ทำลายระดับ 3 ได้รับอนุญาตจากนายจ้างให้ปฏิบัติงานดังต่อไปนี้

- รับผิดชอบอย่างเต็มที่เกี่ยวกับสิ่งอำนวยความสะดวกในการทดสอบ หรือศูนย์ทดสอบและบุคลากร
- กำหนด และตรวจทานความถูกต้องด้านภาษา ด้านเทคนิค ยืนยันคำแนะนำและวิธีการปฏิบัติงานการทดสอบโดยไม่ทำลาย
- ตีความกฎข้อบังคับ มาตรฐาน ข้อกำหนด และวิธีการปฏิบัติงานการทดสอบโดยไม่ทำลาย
- กำหนดวิธีการทดสอบ วิธีการปฏิบัติงาน และคำแนะนำวิธีการทดสอบโดยไม่ทำลายที่จะต้องใช้โดยเฉพาะ
- ดำเนินการ และกำกับดูแลงานทุกอย่างในทุกระดับ
- ให้คำแนะนำเพื่อเป็นแนวทางแก่บุคลากรการทดสอบโดยไม่ทำลายทุกระดับ

โดยในแต่ละมาตรฐานจะกำหนดเวลาในการฝึกอบรมขั้นต่ำไว้ โดยมาตรฐาน มอก. 9712 มีระยะเวลาในการฝึกอบรมขั้นต่ำ ดังตารางที่ 2.2 และมาตรฐาน ASNT SNT-TC-1A (2011) มีระยะเวลาในการอบรมขั้นต่ำ ดังตารางที่ 2.3

**ตารางที่ 2.2** ข้อกำหนดขั้นต่ำของจำนวนชั่วโมงในการฝึกอบรมตามมาตรฐาน มอก. 9712 (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.9712-2550, 2551)

| **วิธีการ NDT** | | **ระดับ 1**<br>**ชั่วโมง** | **ระดับ 2**<br>**จำนวนชั่วโมงรวม**<br>**(รวมของระดับ 1 ด้วย)** | **ระดับ 3**<br>**จำนวนชั่วโมงรวม**<br>**(รวมของระดับ 2 ด้วย)** |
|---|---|---|---|---|
| AT | | 40 | 104 | 150 |
| ET | | 40 | 150 | 120 |
| TT | | 40 | 104 | 160 |
| LT | A. ความรู้พื้นฐาน | 8 | 24 | 36 |
| | B. วิธีการทดสอบโดยการอัดความดัน | 14 | 45 | 66 |
| | C. โดยวิธีใช้ Tracer gas | 18 | 54 | 78 |
| MT | | 16 | 40 | 60 |
| PT | | 16 | 40 | 60 |
| RT | | 40 | 120 | 160 |
| ST | | 16 | 40 | 60 |
| UT | | 40 | 120 | 160 |
| VT | | 16 | 40 | 64 |

-จำนวนชั่วโมงในการฝึกอบรมขึ้นอยู่กับว่าผู้สมัครมีทักษะพื้นฐานด้านคณิตศาสตร์ และความรู้เกี่ยวกับวัสดุและ กระบวนการผลิตมาก่อนหรือไม่ หากไม่มีหน่วยรับรองบุคคลากรอาจกำหนดให้มีการฝึกอบรมเพิ่มเติม

-จำนวนชั่วโมงในการฝึกอบรมจะรวมทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ

-ระยะเวลาในการฝึกอบรมอาจลดลงได้ถึง 50% หากการรับรองที่ต้องการมีการใช้วิธีการทดสอบโดยไม่ทำลายที่จำกัด

-หน่วยรับรองบุคลากรอาจยินยอมให้ลดหย่อนจำนวนชั่วโมงฝึกอบรมลงได้ถึง 50% จากจำนวนรวมสำหรับผู้สมัครที่ได้รับวุฒิการศึกษาจากวิทยาลัยเทคนิค หรือมหาวิทยาลัย หรือมีการศึกษาอย่างน้อยสองปีในสาขาวิศวกรรมศาสตร์ หรือวิทยาศาสตร์ในวิทยาลัย หรือมหาวิทยาลัย

**ตารางที่ 2.3** ข้อกำหนดขั้นต่ำของจำนวนชั่วโมงในการฝึกอบรมตามมาตรฐาน ASNT SNT-TC-1A (2011) (The American Society for Nondestructive Testing, 2011)

| Examination Method | NDT Level | Technique | Training Hours | Experience | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Minimum Hours in Method or Technique | Total hours in NDT |
| Acoustic Emission | I | | 40 | 210 | 400 |
| | II | | 40 | 630 | 1200 |
| Electromagnetic | I | AC Field Measurement | 40 | 210 | 400 |
| | II | | 40 | 630 | 1200 |
| | I | Eddy Current | 40 | 210 | 400 |
| | II | | 40 | 630 | 1200 |
| | I | Remote Field | 40 | 210 | 400 |
| | II | | 40 | 630 | 1200 |
| Ground Penetrating Radar | I | | 8 | 60 | 120 |
| | II | | 20 | 420 | 800 |
| Guided Wave | I | | 40 | 240 | 460 |
| | II | | 40 | 240 | 460 |
| Laser Method | I | Profilometry | 8 | 70 | 130 |
| | II | | 24 | 140 | 260 |
| | I | Holography/Shearography | 40 | 210 | 400 |
| | II | | 40 | 630 | 1200 |
| Leak Testing | I | Bubble Testing | 2 | 3 | 15 |
| | II | | 4 | 35 | 80 |
| | I | Pressure Change | 24 | 105 | 200 |
| | II | | 16 | 280 | 530 |
| | I | Halogen Diode | 12 | 105 | 200 |
| | II | | 8 | 280 | 530 |
| | I | Mass Spectrometer | 40 | 280 | 530 |
| | II | | 24 | 420 | 800 |
| Penetrant Testing | I | | 4 | 70 | 130 |
| | II | | 8 | 140 | 270 |
| Magnetic Flux Leakage | I | | 16 | 70 | 130 |
| | II | | 12 | 210 | 400 |
| Magnetic Particle | I | | 12 | 70 | 130 |
| | II | | 8 | 210 | 400 |
| Microwave Technology | I | | 40 | 210 | 400 |
| | II | | 40 | 630 | 1200 |
| Neutron Radiography | I | | 28 | 420 | 800 |
| | II | | 40 | 1680 | 2400 |
| Radiographic Testing | I | Radiographic | 40 | 210 | 400 |
| | II | | 40 | 630 | 1200 |
| | I | Computed Radiography | 40 | 210 | 400 |
| | II | | 40 | 630 | 1200 |
| | I | | 40 | 210 | 400 |

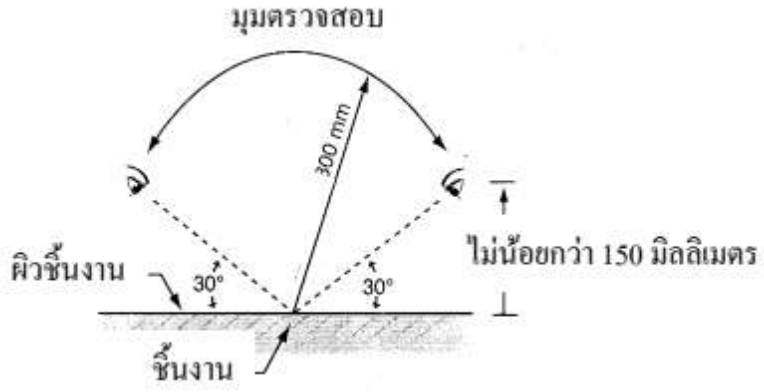
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | II | Computed Tomograhy | 40 | 630 | 1200 |
| | I | Digital Radiography | 40 | 210 | 400 |
| | II | | 40 | 630 | 1200 |
| Thermal/Infrared | I | | 32 | 210 | 400 |
| | II | Building Diagnostics | 34 | 1260 | 1800 |
| | II | Electrical and Mechanical | 34 | 1260 | 1800 |
| | II | Materials Testing | 34 | 1260 | 1800 |
| Ultrasonic Testing | I | | 40 | 210 | 400 |
| | II | | 40 | 630 | 1200 |
| | II | Time of flight Diffraction | 40 | 160 | n/a |
| | II | Phased Array | 80 | 160 | n/a |
| Vibration Analysis | I | | 24 | 420 | 800 |
| | II | | 72 | 1680 | 2400 |
| Visual Testing | I | | 8 | 70 | 130 |
| | II | | 16 | 140 | 270 |

จากข้อกำหนดในเรื่องคุณสมบัติของบุคลากรที่สามารถทำงานในด้านการทดสอบโดยไม่ทำลายได้ ซึ่งได้ระบุว่าบุคลากรต้องเป็นผู้ที่มีความรู้ ความสามารถ รวมทั้งต้องผ่านการฝึกอบรมและสอบผ่านตามข้อกำหนด เช่น ASNT SNT-TC-1A และ ISO 9712 เป็นต้น

กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย มีการกำหนดมาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อมโครงสร้างเหล็กรูปพรรณด้วยวิธีการทดสอบโดยไม่ทำลาย (มยผ. 1561-51 ถึง 1565-51, 2551) โดยแต่ละวิธีการทดสอบโดยไม่ทำลายมีตัวแปรที่ส่งผลต่อการทดสอบ ซึ่งอธิบายไว้ในแต่ละวิธีการทดสอบ ดังนี้

**การทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจ**

ก่อนการทดสอบต้องทำความสะอาดรอยเชื่อมและบริเวณใกล้เคียงอย่างน้อย 25 มิลลิเมตร โดยบริเวณที่ทำการทดสอบต้องแห้งและปราศจากสิ่งสกปรก ในตรวจสอบด้วยสายตา ให้มีระยะห่างจากผิวชิ้นงานไม่เกิน 300 มิลลิเมตร และทำมุมไม่น้อยกว่า 30 องศา ดังรูปที่ 2.10 และทดสอบภายใต้แสงสว่างอย่างน้อย 350 ลักซ์ (แนะนำที่ 500 ลักซ์)




**รูปที่ 2.10** ระยะและมุมตรวจสอบในการทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจ (มยผ. 1561-51 ถึง 1565-51, 2551)

ในการทดสอบที่กรณีชิ้นงานอยู่ไกลกับสายตาสามารถใช้เครื่องช่วยในการทดสอบ เช่น กระจกเงา แว่นขยาย กล้องขยายบอร์สโคป เป็นต้น สำหรับการทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจสามารถทำได้ทันทีหลังชิ้นงานเชื่อมเย็นตัวลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง ยกเว้นเหล็กตามมาตรฐาน ASTM A514 ASTM A517 และ ASTM A709 เกรด100W และเหล็กมาตรฐานอื่น ๆ ที่เทียบเท่า สามารถทดสอบได้หลังจากเชื่อมเสร็จ 48 ชั่วโมง โดยการทดสอบรอยเชื่อม แบ่งออกเป็น 5 ระยะ ได้แก่ การทดสอบก่อนการเชื่อม การทดสอบระหว่างการเชื่อม การทดสอบหลังการเชื่อม การทดสอบรอยเชื่อมซ่อม การทดสอบภายหลังการใช้งานและการทดสอบเมื่อครบวาระ

**การทดสอบโดยวิธีสารแทรกซึม**

การทดสอบโดยวิธีสารแทรกซึม ชุดน้ำยาต้องมีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM E165 หรือ EN ISO 3452-2 หรือมาตรฐานแห่งชาติอื่นที่เทียบเท่า สำหรับการเตรียมผิวชิ้นงานทดสอบต้องทำความสะอาดห่างจากขอบรอยเชื่อมอย่างน้อย 25 มิลลิเมตร โดยผิวของชิ้นงานทดสอบต้องแห้งและมีอุณหภูมิระหว่าง 10-52 ℃ กรณีที่อุณหภูมิของชิ้นงานไม่อยู่ในช่วงดังกล่าว ให้ใช้แท่งปรับเทียบมาตรฐานสอบเทียบคุณภาพของชุดน้ำยาที่ใช้ในการทดสอบและกระบวนการทดสอบ ถ้าใช้สารแทรกซึมชนิดย้อมสีที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ต้องทดสอบในบริเวณที่มีแสงสว่างอย่างน้อย 1,000 ลักซ์ บนพื้นผิวการทดสอบ สำหรับการทดสอบโดยใช้สารแทรกซึมชนิดวาวแสง ก่อนการทดสอบผู้ปฏิบัติงานทดสอบต้องอยู่ในบริเวณที่มืดอย่างน้อย 5 นาที เพื่อปรับสายตาเข้ากับความมืด และต้องเปิดแสงแบล็กไลท์ไว้อย่างน้อย 5 นาที โดยแหล่งกำเนิดแสงแบล็กไลท์ต้องความยาวคลื่นแสงอยู่ในช่วง 330 ถึง 390 นาโนเมตรและมีความเข้มการส่องสว่างไม่ต่ำกว่า 1,000 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร บนผิวทดสอบและต้องตรวจวัดทุก 8 ชั่วโมง หรือเมื่อเปลี่ยนสถานที่ทดสอบ หลังจากพ่นสารแทรกซึมเสร็จให้ปล่อยทิ้งไว้อย่างน้อย 5 นาทีหรือมากกว่า จากนั้นเช็ดสารแทรกซึมส่วนเกินออก และพ่นสารสร้างภาพ หากพ่นสารสร้างภาพหนาเกินไปอาจทำให้การทดสอบหารอยความไม่ต่อเนื่องขนาดเล็กทำได้ยากขึ้น โดยการแปลผลการทดสอบให้ทำหลังพ่นสารสร้างภาพอย่างน้อย 7 นาที และไม่เกิน 60 นาที การทำความสะอาดหลังการทดสอบต้องทำหลังจากการประเมินผลการทดสอบ

**การทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก**

ในการทดสอบโดยใช้อนุภาคแม่เหล็กชนิดมองเห็นด้วยตาเปล่า ให้ทดสอบภายใต้แสงสว่าง หลังจากให้อำนาจแม่เหล็กลงไปไม่ต่ำกว่า 3 ถึง 5 วินาที สำหรับการทดสอบโดยใช้อนุภาคแม่เหล็กชนิดวาวแสง ก่อนการทดสอบผู้ปฏิบัติงานทดสอบต้องอยู่ในบริเวณที่มืดอย่างน้อย 5 นาที เพื่อปรับสายตาเข้ากับความมืด และต้องเปิดแสงแบล็กไลท์ไว้อย่างน้อย 5 นาที โดยแหล่งกำเนิดแสงแบล็กไลท์ต้องมีความยาวคลื่นแสงอยู่ในช่วง 330 ถึง 390 นาโนเมตรและมีความเข้มการส่องสว่างไม่ต่ำกว่า 1,000 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร บนผิวทดสอบ และต้องตรวจวัดทุก 8 ชั่วโมง หรือเมื่อเปลี่ยนสถานที่ทดสอบ ควรให้อำนาจแม่เหล็กแก่ชิ้นงานอย่างน้อย 2 ทิศทาง โดยการทดสอบครั้งที่ 2 ควรให้เส้นแรงแม่เหล็กมีทิศทางตั้งฉากกับทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดในการทดสอบครั้งแรก เพื่อสามารถหารอยบกพร่องได้ทุกทิศทาง

เมื่อต้องการตรวจสอบทิศทาง และความเข้มของสนามแม่เหล็กสามารถตรวจได้ตามมาตรฐาน ASTM E709 หรือมาตรฐานแห่งชาติอื่นที่เป็นที่ยอมรับ หรือ มาตรฐานระดับนานาชาติ ทำการคลายอำนาจแม่เหล็กตกค้างในชิ้นงานที่อาจมีผลต่อการทำงานหรือใช้งานในขั้นต่อไปจะต้องคลายภายหลังการทดสอบ

**การทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง**

หัวทดสอบมีความถี่อยู่ในช่วง 2-4 เมกะเฮิรตซ์ โดยหัวทดสอบมุมเอียงต้องสร้างลำคลื่นเสียงในวัสดุชิ้นงานที่ทำการทดสอบภายในขอบเขต ±2 ° จากค่ามุมปกติ คือ 70° 60° และ 45° ตามรายละเอียดการสอบเทียบมุมทดสอบ ระยะของหัวทดสอบวัดจากด้านหน้าของหัวทดสอบถึงเส้นขีดแสดงจุดส่งคลื่นต้องไม่เกิน 25.4 มิลลิเมตร อีกทั้งผู้ปฏิบัติงานต้องมีการปรับตั้งระดับความไว และระยะทางตามแนวการกวาดส่งคลื่น ก่อนการทดสอบ และที่ตำแหน่งทดสอบแนวเชื่อมแต่ละแห่ง ให้ปรับตั้งซ้ำเมื่อมีการเปลี่ยนผู้ทดสอบ หรือทดสอบต่อเนื่องเกิน 30 นาที หรือเมื่อวงจรไฟฟ้าถูกรบกวน ซึ่งเห็นได้ว่าผู้ปฏิบัติงานทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง ต้องอาศัยความรู้ ทักษะอย่างมากในการใช้งานเครื่องทดสอบ

**การทดสอบโดยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสี**

ในการทดสอบโดยวิธีการถ่ายภาพด้วยรังสีจะเน้นเรื่องความปลอดภัยในการทดสอบเป็นหลัก โดยปฏิบัติตามข้อกำหนดของมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้งานเกี่ยวกับรังสีตามพระราชบัญญัติพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ พ.ศ. 2504 และกฎกระทรวงที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษามาตรฐานสากล มีการกำหนดให้มีการฝึกอบรม และระบุระยะเวลาขั้นต่ำในการฝึกอบรม อีกทั้งในการนำวิธีการทดสอบโดยไม่ทำลายไปใช้งานในอุตสาหกรรม เช่น การตรวจสอบรอยเชื่อมโครงสร้างเหล็กรูปพรรณที่กล่าวมาข้างต้น พบว่ามีตัวแปรที่สำคัญหลายตัวที่ส่งผลต่อการทดสอบ หากผู้ปฏิบัติงานด้านการทดสอบโดยไม่ทำลายมีความรู้และทักษะไม่เพียงพอ อาจทำให้ได้ผลการทดสอบผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงได้จัดทำโครงการฯ นี้ขึ้น เพื่อพัฒนาความรู้ ความสามารถให้กับบุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลาย ทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ

# บทที่ 3

## ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ มีแนวคิดที่จะพัฒนาบุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลาย โดยจัดฝึกอบรมทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติให้กับบุคลากรที่ปฏิบัติงานด้านการทดสอบไม่ทำลายภายในพื้นที่ภาคตะวันตกและภาคใต้ตอนบน ซึ่งเป็นบริเวณใกล้เคียงกับที่ตั้งของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (ราชบุรี) เพื่อให้บุคลากรที่ปฏิบัติงาน มีคุณภาพและมีทักษะการปฏิบัติงาน เป็นไปตามมาตรฐานสากล ตลอดจนบุคลากรสามารถเข้าถึงการฝึกอบรมได้โดยง่าย และเกิดผลประโยชน์สูงสุดในการปฏิบัติงาน รวมถึงการให้โอกาสแก่บุคลากรทางการศึกษา (ครู อาจารย์ เจ้าหน้าที่ช่างเทคนิค) ได้เข้ารับการฝึกอบรม เพื่อนำความรู้และประสบการณ์จากภาคปฏิบัติไปถ่ายทอดให้ผู้เรียนในสถานศึกษา ได้ถือเป็นแนวทางปฏิบัติงานอย่างเป็นมาตรฐานเมื่อสำเร็จการศึกษาไปประกอบวิชาชีพในอนาคต ซึ่งขั้นตอนการดำเนินงานมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ศึกษา รวบรวมข้อมูลและมาตรฐานเกี่ยวข้องกับการทดสอบโดยไม่ทำลาย 5 วิธีการ โดยมีสาขาการทดสอบโดยไม่ทำลาย ดังนี้

1. การทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจ (Visual testing: VT)
2. การทดสอบโดยวิธีสารแทรกซึม (Liquid penetrant testing: PT)
3. การทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก (Magnetic particle testing: MT)
4. การทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง (Ultrasonic testing: UT)
5. การทดสอบโดยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสี (Radiographic testing: RT)

3.2 จัดทำเอกสารประกอบการอบรมและเตรียมสถานที่ในการจัดอบรมโครงการพัฒนาบุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลาย โดยศึกษาข้อมูลและรวบรวมข้อมูลสำหรับจัดทำเอกสารประกอบการฝึกอบรม โดยอ้างอิงเนื้อหาของวิธีการทดสอบโดยไม่ทำลายจากหนังสือ มาตรฐาน และเอกสารที่เป็นที่ยอมรับในระดับสากลต่าง ๆ เช่น หนังสือ ASM Handbook Volume 17 เอกสารมาตรฐาน ASTM เอกสารมาตรฐาน ASME Section V และ Section VIII และเอกสารมาตรฐาน AWS D1.1 และได้ออกแบบชิ้นงานสำหรับการฝึกอบรมภาคปฏิบัติทั้ง 5 วิธีการ จัดทำและแปลเอกสารที่เกี่ยวข้อง สำหรับอบรมภาคทฤษฎีของวิธีการทดสอบโดยไม่ทำลายทั้ง 5 วิธีการ โดยมีการแปลในส่วนของงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเชื่อม คุณสมบัติของวัสดุ รอยความไม่ต่อเนื่องในวัสดุ หลักการทั่วไปของวิธีการทดสอบโดยไม่ทำลายทั้ง 5 วิธีการ และมาตรฐานเกณฑ์การยอมรับ

3.3 ออกแบบ กำหนดวิธีการ และควบคุมการจัดทำชิ้นงานสำหรับการฝึกอบรมภาคปฏิบัติ 5 วิธี โดยเป็นชิ้นงานที่มีรอยความไม่ต่อเนื่องต่าง ๆ อยู่ที่ผิวและภายในชิ้นงาน อย่างน้อยวิธีการละ 10 ชิ้น ได้แก่

1. ชิ้นงานสำหรับการทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจ ได้แก่ ชิ้นงานหล่ออลูมิเนียมจำนวน 5 ชิ้น และ ชิ้นงานแนวเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน ที่มีรอยความไม่ต่อเนื่องจำนวน 5 ชิ้น

2. ชิ้นงานสำหรับการทดสอบโดยวิธีสารแทรกซึม ได้แก่ ชิ้นงานแนวเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน ที่มีรอยความไม่ต่อเนื่องจำนวน 10 ชิ้น

3. ชิ้นงานสำหรับการทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก ได้แก่ ชิ้นงานแนวเชื่อมแบบต่อชนที่มีรอยความไม่ต่อเนื่องจำนวน 5 ชิ้น และชิ้นงานแนวเชื่อมตั้งฉากที่มีรอยความไม่ต่อเนื่องจำนวน 5 ชิ้น

4. ชิ้นงานสำหรับการทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง ได้แก่ ชิ้นงานที่มีรอยความไม่ต่อเนื่องสำหรับหัวตรวจสอบตรง (Normal probe) จำนวน 5 ชิ้น และชิ้นงานที่มีรอยความไม่ต่อเนื่องสำหรับหัวตรวจสอบมุม (Angle probe) จำนวน 5 ชิ้น

5. ชิ้นงานสำหรับการทดสอบโดยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสี ได้แก่ ชิ้นงานหล่ออลูมิเนียมจำนวน 5 ชิ้น และชิ้นงานแนวเชื่อมเหล็กจำนวน 5 ชิ้น

3.4 ประชาสัมพันธ์ข่าวสารการจัดสัมมนาและการฝึกอบรมโครงการพัฒนาบุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลายแก่สถานประกอบการทุกกลุ่มอุตสาหกรรม และสถานศึกษาที่เกี่ยวข้องในภาคตะวันตกและภาคใต้ตอนบน โดยประชาสัมพันธ์ผ่านทางช่องทางต่าง ๆ ได้แก่ โทรศัพท์ การส่งจดหมายอิเล็กทรอนิกส์และจัดทำแผ่นภาพประชาสัมพันธ์ข่าวสารผ่านทางสื่อออนไลน์ ที่หน้าเพจเฟซบุ๊ก MNDT Laboratory ของหน่วยวิจัยวัสดุและการทดสอบโดยไม่ทำลาย (ตั้งอยู่ ณ มจธ ราชบุรี) และให้ข้อมูลรายละเอียดต่าง ๆ เบื้องต้นแก่ผู้ที่สนใจเข้ารับการฝึกอบรม

3.5 จัดสัมมนา และจัดฝึกอบรมโครงการพัฒนาบุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลายในกลุ่มอุตสาหกรรมบริเวณพื้นที่ภาคตะวันตกและภาคใต้ตอนบน ทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ แก่ผู้ปฏิบัติงานด้านการทดสอบโดยไม่ทำลายทั้งภาครัฐและเอกชน บุคลากรทางการศึกษาจากหน่วยงานภาครัฐ บุคลากรจากหน่วยวิจัยวัสดุและการทดสอบโดยไม่ทำลาย และผู้เกี่ยวข้อง โดยมีระยะเวลาและสถานที่ดังนี้

| | |
|---|---|
| วันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2563 | ณ ห้อง Open Classroom อาคารหอสมุด มจธ. ราชบุรี |
| วันที่ 14-15 กุมภาพันธ์ 2563 | ณ ห้องย่อย 6-7 อาคารปฏิบัติการ มจธ ราชบุรี |
| วันที่ 21-22 กุมภาพันธ์ 2563 | ณ ห้องย่อย 6-7 อาคารปฏิบัติการ มจธ ราชบุรี |
| วันที่ 28-29 กุมภาพันธ์ 2563 | ณ ห้องย่อย 6-7 อาคารปฏิบัติการ มจธ ราชบุรี |
| วันที่ 6-7 มีนาคม 2563 | ณ ห้องย่อย 6-7 อาคารปฏิบัติการ มจธ ราชบุรี |
| วันที่ 13-14 มีนาคม 2563 | ณ ห้องย่อย 6-7 อาคารปฏิบัติการ มจธ ราชบุรี |
| วันที่ 18 กรกฎาคม 2563 | ณ พิณทอง ริเวอร์ไซด์ รีสอร์ท อ.สามพราน จ.นครปฐม |

ซึ่งมีรายละเอียดกำหนดการสัมมนา และจัดฝึกอบรมโครงการพัฒนาบุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลาย ทั้ง 5 วิธีการ ดังตารางที่ 3.1 – 3.7 บรรยายหัวข้อสัมมนาและหัวข้อการฝึกอบรมโดย ผศ. ดร.ใหม่ น้อยพิทักษ์ [ASNT NDT Level III No. 285078] ซึ่งเป็นผู้ที่ได้รับการรับรองระดับ 3 จากสมาคมการทดสอบโดยไม่ทำลายแห่งสหรัฐอเมริกา (ASNT NDT level III)

**ตารางที่ 3.1** กำหนดการสัมมนา “วิศวกรรมการทดสอบโดยไม่ทำลาย” วันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2563 ณ ห้อง Open Classroom อาคารหอสมุด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (ราชบุรี)

| เวลา | กิจกรรม |
|---|---|
| 09.00-09.30 | ลงทะเบียน |
| 09.30-09.40 | กล่าวต้อนรับ ผู้เข้าร่วมสัมมนา |
| 09.40-10.50 | วัตถุประสงค์การจัดสัมมนา และความรู้การทดสอบโดยไม่ทำลายเบื้องต้น |
| 10.50-11.00 | พักรับประทานอาหารว่าง |
| 11.00-12.00 | ความรู้การทดสอบโดยไม่ทำลายเบื้องต้น (ต่อ) |
| 12.00-13.00 | พักรับประทานอาหารกลางวัน |
| 13.00-14.30 | กิจกรรม Open house และสาธิตการใช้งานเครื่องมือการทดสอบโดยไม่ทำลายต่าง ๆ |
| 14.30-14.45 | พักรับประทานอาหารว่าง |
| 14.45-16.00 | - แนวทางการประยุกต์ใช้ และการพัฒนาการทดสอบโดยไม่ลายในภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ ของภูมิภาคตะวันตก<br>- ทุนการวิจัย และทุนการบริการทางวิชาการ สำหรับภาคอุตสาหกรรม<br>- กิจกรรมรับใบประกาศนียบัตรการเข้าร่วมสัมมนา |

**ตารางที่ 3.2** หัวข้อการฝึกอบรมที่ 1 การทดสอบโดยวิธีตรวจพินิจ (Visual Testing) วันที่ 14-15 กุมภาพันธ์ 2563

| Day | 8.30-12.00 | | 13.00-16.00 |
|---|---|---|---|
| 14-2-20 | - แนะนำเข้าสู่ NDT (Introduction to NDT & Certification)<br>- แนะนำด้านวัสดุและรอยความไม่ต่อเนื่อง (Introduction to Material and Type of Discontinuities) | | - ทฤษฎีและหลักการทดสอบโดยวิธีตรวจพินิจ (VT) |
| 15-2-20 | - มาตรฐานการทำงานที่เกี่ยวข้อง (Codes & Standards for VT)<br>- การประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมต่างๆ | | - สาธิตและทดลองฝึกภาคปฏิบัติ<br>- ถาม-ตอบ (Q&A)<br>- กิจกรรมทวนสอบความรู้ภาคทฤษฎี |
| <u>หมายเหตุ</u> | ลงทะเบียนเวลา 08.30-09.00 น.<br>พักเบรกช่วงเวลา 10.30-10.45 น. และ 14.15-14.30 น.<br>พักรับประทานอาหารกลางวันเวลา 12.00-13.00 น. | | |

**ตารางที่ 3.3** หัวข้อการฝึกอบรมที่ 2 การทดสอบโดยวิธีสารแทรกซึม (Liquid Penetrant Testing) วันที่ 21-22 กุมภาพันธ์ 2563

| Day | 8.30-12.00 | | 13.00-16.00 |
|---|---|---|---|
| 21-2-20 | - ทฤษฎีและหลักการทดสอบโดยวิธีสารแทรกซึม (PT) | | - มาตรฐานการทำงานที่เกี่ยวข้อง (Codes & Standards for PT) |
| 22-2-20 | - การประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมต่างๆ | | - สาธิตและทดลองฝึกภาคปฏิบัติ<br>- ถาม-ตอบ (Q&A)<br>- กิจกรรมทวนสอบความรู้ภาคทฤษฎี |
| **ควรเข้าเรียน หัวข้อการฝึกอบรมที่ 1: การทดสอบโดยวิธีตรวจพินิจ (Visual Testing) ก่อน เพื่อจะได้เข้าใจพื้นฐานเบื้องต้นที่เกี่ยวข้อง<br><br>หมายเหตุ ลงทะเบียนเวลา 08.30-09.00 น.<br>พักเบรกช่วงเวลา 10.30-10.45 น. และ 14.15-14.30 น.<br>พักรับประทานอาหารกลางวันเวลา 12.00-13.00 น. | | | |

**ตารางที่ 3.4** หัวข้อการฝึกอบรมที่ 3 การทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก (Magnetic Particle Testing) วันที่ 28-29 กุมภาพันธ์ 2563

| Day | 8.30-12.00 | | 13.00-16.00 |
|---|---|---|---|
| 28-2-20 | - ทฤษฎีและหลักการทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก (MT) | | - มาตรฐานการทำงานที่เกี่ยวข้อง (Codes & Standards for MT) |
| 29-2-20 | - การประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมต่างๆ | | - สาธิตและทดลองฝึกภาคปฏิบัติ<br>- ถาม-ตอบ (Q&A)<br>- กิจกรรมทวนสอบความรู้ภาคทฤษฎี |
| **ควรเข้าเรียน หัวข้อการฝึกอบรมที่ 1: การทดสอบโดยวิธีตรวจพินิจ (Visual Testing) ก่อน เพื่อจะได้เข้าใจพื้นฐานเบื้องต้นที่เกี่ยวข้อง<br><br>หมายเหตุ ลงทะเบียนเวลา 08.30-09.00 น.<br>พักเบรกช่วงเวลา 10.30-10.45 น. และ 14.15-14.30 น.<br>พักรับประทานอาหารกลางวันเวลา 12.00-13.00 น. | | | |

**ตารางที่ 3.5** หัวข้อการฝึกอบรมที่ 4 การทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง (Ultrasonic Testing) วันที่ 6-7 มีนาคม 2563

| Day | 8.30-12.00 | | 13.00-16.00 |
|---|---|---|---|
| 06-03-20 | - ทฤษฎีและหลักการทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง (UT) | | - มาตรฐานการทำงานที่เกี่ยวข้อง (Codes & Standards for UT) |
| 07-03-20 | - การประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมต่างๆ | | - สาธิตการใช้เครื่องมือ<br>- ถาม-ตอบ (Q&A)<br>- กิจกรรมทวนสอบความรู้ภาคทฤษฎี |
| **ควรเข้าเรียน หัวข้อการฝึกอบรมที่ 1: การทดสอบโดยวิธีตรวจพินิจ (Visual Testing) ก่อน เพื่อจะได้เข้าใจพื้นฐานเบื้องต้นที่เกี่ยวข้อง<br><br>หมายเหตุ ลงทะเบียนเวลา 08.30-09.00 น.<br>พักเบรกช่วงเวลา 10.30-10.45 น. และ 14.15-14.30 น.<br>พักรับประทานอาหารกลางวันเวลา 12.00-13.00 น. | | | |

**ตารางที่ 3.6** หัวข้อการฝึกอบรมที่ 5 การทดสอบโดยวิธีการถ่ายภาพด้วยรังสี (Radiographic Testing: Film Interpretation) วันที่ 13-14 มีนาคม 2563

| Day | 8.30-12.00 | | 13.00-16.00 |
|---|---|---|---|
| 13-03-20 | - ทฤษฎีและหลักการทดสอบโดยวิธีการถ่ายภาพด้วยรังสี (RT) | | - มาตรฐานการทำงานที่เกี่ยวข้อง (Codes & Standards for RT) |
| 14-03-20 | - การประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมต่างๆ | | - การสาธิตและฝึกการประเมินผลจากฟิล์ม<br>- ถาม-ตอบ (Q&A)<br>- กิจกรรมทวนสอบความรู้ภาคทฤษฎี |
| **ควรเข้าเรียน หัวข้อการฝึกอบรมที่ 1: การทดสอบโดยวิธีตรวจพินิจ (Visual Testing) ก่อน เพื่อจะได้เข้าใจพื้นฐานเบื้องต้นที่เกี่ยวข้อง<br><br>หมายเหตุ ลงทะเบียนเวลา 08.30-09.00 น.<br>พักเบรกช่วงเวลา 10.30-10.45 น. และ 14.15-14.30 น.<br>พักรับประทานอาหารกลางวันเวลา 12.00-13.00 น. | | | |

**ตารางที่ 3.7** กำหนดการสัมมนา “การผลิตและทดสอบผลิตภัณฑ์เพื่อสร้างนวัตกรรม” วันที่ 18 กรกฎาคม 2563 ณ พิณทอง ริเวอร์ไซด์ รีสอร์ท อ.สามพราน จ.นครปฐม

| เวลา | กิจกรรม |
|---|---|
| 09.00-09.30 | ลงทะเบียน |
| 09.30-10.00 | กล่าวต้อนรับ ผู้เข้าร่วมสัมมนา |
| 09.40-10.50 | การบรรยาย “การผลิตและทดสอบผลิตภัณฑ์เพื่อสร้างนวัตกรรม” โดย ผศ.ดร.ใหม่ น้อยพิทักษ์ |
| 10.50-11.00 | พักรับประทานอาหารว่าง |
| 11.00-12.00 | กล่าวเปิดงานและปาฐกถาพิเศษ โดย นางสาวพิมพ์ชนก วอนขอพร ผู้อำนวยการสำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า |
| 12.00-13.00 | พักรับประทานอาหารกลางวัน |
| 13.00-14.30 | กิจกรรมเสวนา “การผลิตและทดสอบผลิตภัณฑ์เพื่อสร้างนวัตกรรม” |
| 14.30-14.45 | พักรับประทานอาหารว่าง |
| 14.45-15.30 | กิจกรรมเสวนา “การผลิตและทดสอบผลิตภัณฑ์เพื่อสร้างนวัตกรรม” (ต่อ) |
| 15:45-16:00 | กล่าวปิดงาน โดย ดร.วินัย รุ่งฤทธิเดช นายกสมาคมการค้าส่งเสริมธุรกิจภาคกลาง |

3.6 รวบรวมข้อมูลบุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลาย ติดตามผลการอบรม สรุปผลการจัดโครงการและเผยแพร่ข้อมูลความสำเร็จของโครงการ

# บทที่ 4

# อภิปรายผล

## 4.1 การจัดทำเอกสารประกอบการอบรม

จากการรวบรวมองค์ความรู้เพื่อจัดทำเอกสารประกอบการ อบรมโครงการพัฒนาบุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลาย โดยอ้างอิงเนื้อหาของวิธีการทดสอบโดยไม่ทำลายจากหนังสือ มาตรฐาน และเอกสารที่เป็นที่ยอมรับในระดับสากลต่าง ๆ ดังนี้

1. หนังสือ ASM Handbook Volume 17
2. เอกสารมาตรฐาน ASTM
3. เอกสารมาตรฐาน ASME Section V และ Section VIII
4. เอกสารมาตรฐาน AWS D1.1

การจัดทำและแปลเอกสารที่เกี่ยวข้อง สำหรับอบรมภาคทฤษฎีของวิธีการทดสอบโดยไม่ทำลายทั้ง 5 วิธีการ โดยมีการแปลและเรียบเรียงในส่วนของงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเชื่อม คุณสมบัติของวัสดุ รอยความไม่ต่อเนื่องในวัสดุ หลักการทั่วไปของวิธีการทดสอบโดยไม่ทำลายทั้ง 5 วิธีการ และเกณฑ์การยอมรับ โดยที่หน้าปกเอกสารของแต่ละวิธี (เนื้อหามีมากกว่า 100 หน้า) แสดงดังรูปที่ 4.1-4.5

**รูปที่ 4.1** หน้าปกเอกสารการฝึกอบรมการทดสอบโดยวิธีตรวจพินิจ

**รูปที่ 4.2** หน้าปกเอกสารการฝึกอบรมการทดสอบโดยวิธีสารแทรกซึม

**รูปที่ 4.3** หน้าปกเอกสารการฝึกอบรมการทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก

**รูปที่ 4.4** หน้าปกเอกสารการฝึกอบรมการทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง

**รูปที่ 4.5** หน้าปกเอกสารการฝึกอบรมการทดสอบโดยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสี

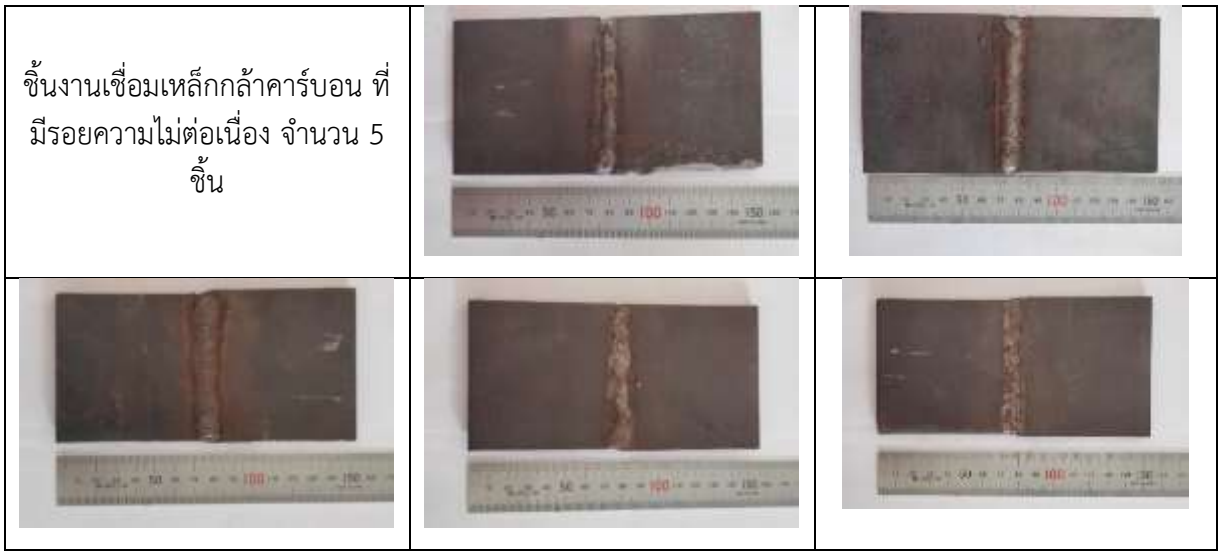
### 4.2 การจัดทำชิ้นงานมาตรฐานและชิ้นงานสำหรับการฝึกอบรมภาคปฏิบัติ 5 วิธี

โครงการนี้ได้ออกแบบ และดำเนินการจัดหาชิ้นงานที่มีรอยความไม่ต่อเนื่องต่าง ๆ ที่อยู่ที่ผิวและภายในชิ้นงาน สำหรับการฝึกอบรมภาคปฏิบัติ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 4.2.1 ชิ้นงานสำหรับการทดสอบโดยวิธีตรวจพินิจ

ชิ้นงานสำหรับการฝึกภาคปฏิบัติ ได้แก่ ชิ้นงานหล่ออลูมิเนียม จำนวน 5 ชิ้น (ดังรูปที่ 4.6) และชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน ที่มีรอยความไม่ต่อเนื่อง จำนวน 5 ชิ้น (ดังรูปที่ 4.7)

**รูปที่ 4.6** ชิ้นงานสำหรับการทดสอบโดยวิธีตรวจพินิจ ซึ่งเป็นชิ้นงานหล่ออลูมิเนียม




**รูปที่ 4.7** ชิ้นงานสำหรับการทดสอบโดยวิธีตรวจพินิจ ซึ่งเป็นชิ้นงานเชื่อม ที่มีรอยความไม่ต่อเนื่อง

### 4.2.2 ชิ้นงานสำหรับการทดสอบโดยวิธีสารแทรกซึม

ชิ้นงานสำหรับการฝึกภาคปฏิบัติ ได้แก่ ชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน ที่มีรอยความไม่ต่อเนื่อง จำนวน 10 ชิ้น แสดงดังรูปที่ 4.8

**รูปที่ 4.8** ชิ้นงานฝึกภาคปฏิบัติสำหรับการทดสอบโดยวิธีสารแทรกซึม

### 4.2.3 ชิ้นงานสำหรับการทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก

ชิ้นงานสำหรับการฝึกภาคปฏิบัติ ได้แก่ ชิ้นงานเชื่อมแบบต่อชนที่มีรอยความไม่ต่อเนื่อง จำนวน 5 ชิ้น ดังรูปที่ 4.9 และชิ้นงานเชื่อมต่อฉากที่มีรอยความไม่ต่อเนื่อง จำนวน 5 ชิ้น แสดงดังรูปที่ 4.10

| | | |
|---|---|---|
| ชิ้นงานเชื่อมแบบต่อชนที่มี<br>รอยความไม่ต่อเนื่อง<br>จำนวน 5 ชิ้น | | |
| | | |

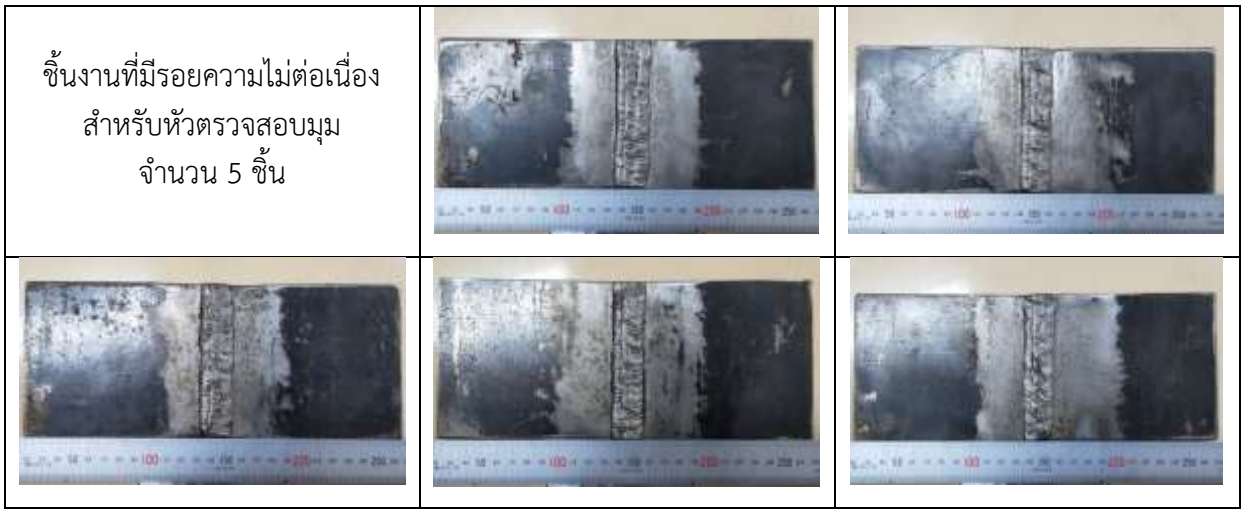
**รูปที่ 4.9** ชิ้นงานสำหรับการทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก ซึ่งเป็นชิ้นงานเชื่อมแบบต่อชนที่มีรอยความไม่ต่อเนื่อง

| | | |
|---|---|---|
| ชิ้นงานเชื่อมแบบต่อฉากที่มี<br>รอยความไม่ต่อเนื่อง<br>จำนวน 5 ชิ้น | | |
| | | |

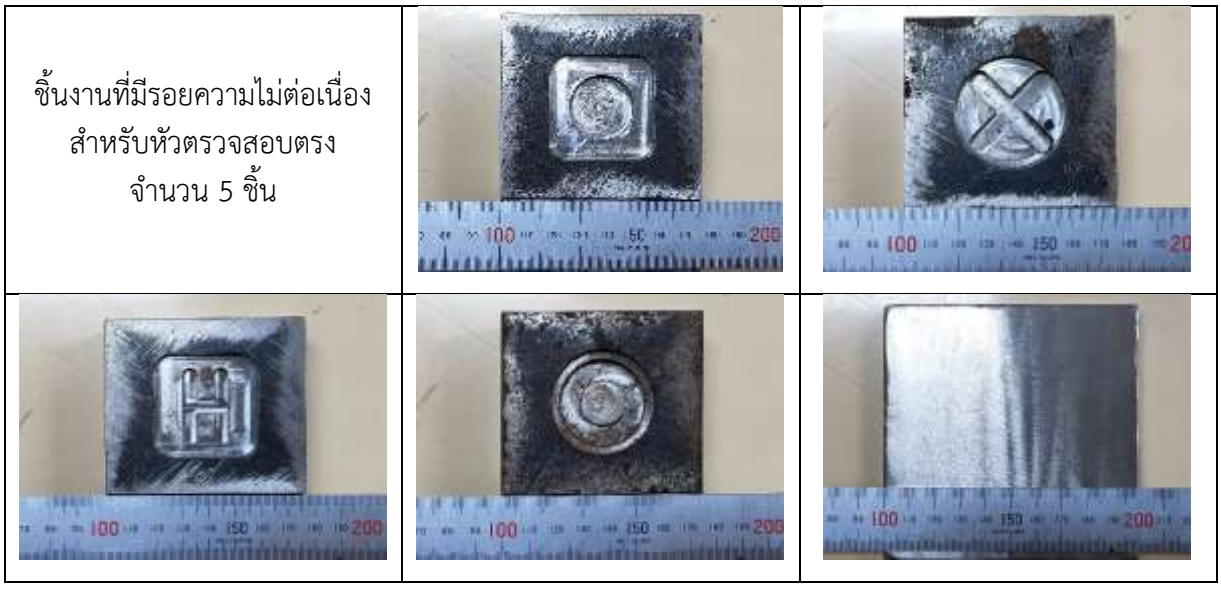
**รูปที่ 4.10** ชิ้นงานสำหรับการทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก ซึ่งเป็นชิ้นงานเชื่อมต่อฉากที่มีรอยความไม่ต่อเนื่อง

### 4.2.4 ชิ้นงานสำหรับการทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง

ชิ้นงานสำหรับการฝึกภาคปฏิบัติ ได้แก่ ชิ้นงานที่มีรอยความไม่ต่อเนื่องสำหรับหัวตรวจสอบมุม (Angle probe) จำนวน 5 ชิ้น แสดงดังรูปที่ 4.11 และชิ้นงานที่มีรอยความไม่ต่อเนื่องสำหรับหัวตรวจสอบตรง (Normal probe) จำนวน 5 ชิ้น แสดงดังรูปที่ 4.12



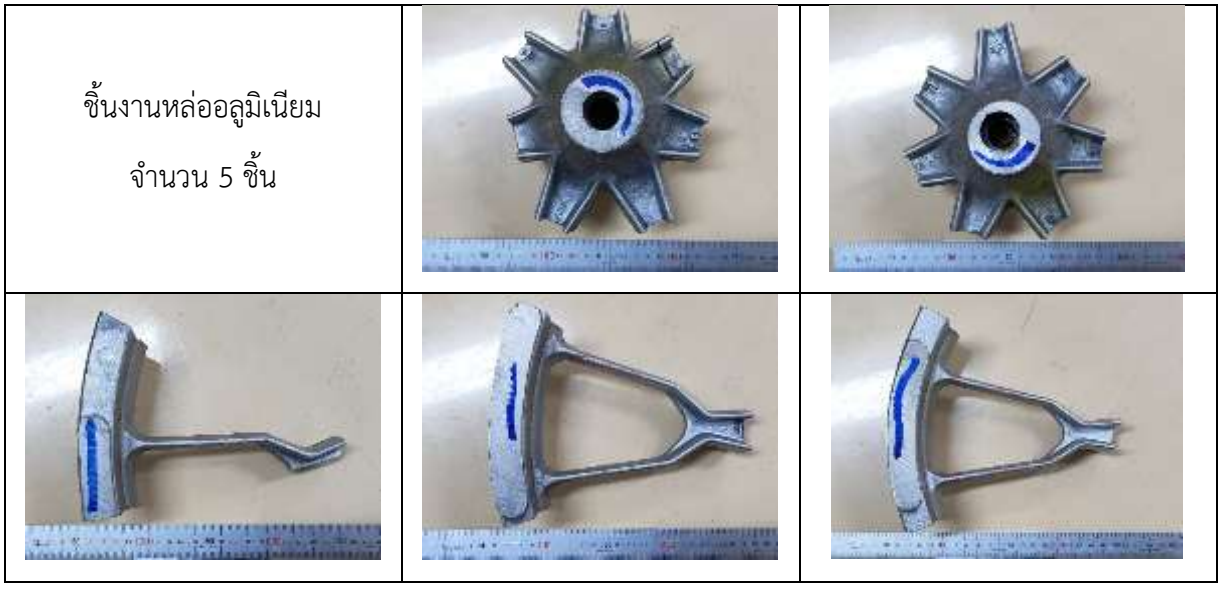

**รูปที่ 4.11** ชิ้นงานสำหรับการทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง ซึ่งเป็นชิ้นงานเชื่อมที่มีรอยความไม่ต่อเนื่องสำหรับหัวตรวจสอบมุม



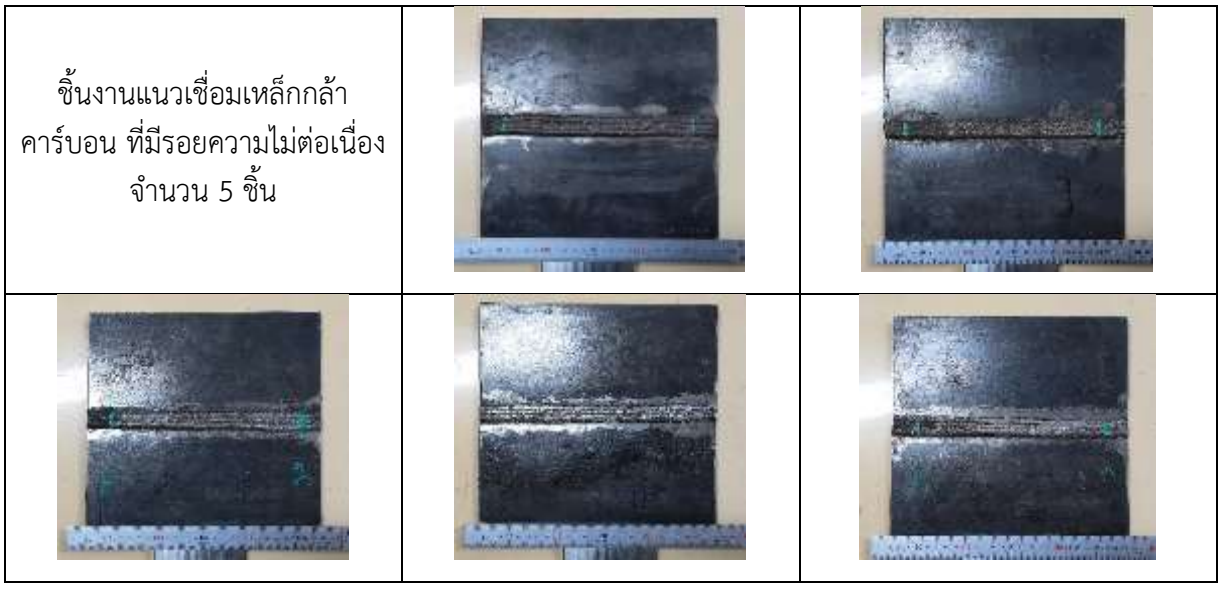

**รูปที่ 4.12** ชิ้นงานสำหรับการทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง ซึ่งเป็นชิ้นงานที่มีรอยความไม่ต่อเนื่องสำหรับหัวตรวจสอบตรง

### 4.2.5 ชิ้นงานสำหรับการทดสอบโดยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสี

ชิ้นงานสำหรับการฝึกภาคปฏิบัติ ได้แก่ ชิ้นงานหล่ออลูมิเนียมจำนวน 5 ชิ้น (ดังรูปที่ 4.13) และชิ้นงานแนวเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนจำนวน 5 ชิ้น (ดังรูปที่ 4.14)




**รูปที่ 4.13** ชิ้นงานสำหรับการทดสอบโดยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสี ซึ่งเป็นชิ้นงานหล่ออลูมิเนียม




**รูปที่ 4.14** ชิ้นงานสำหรับการทดสอบโดยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสี ซึ่งเป็นชิ้นงานเชื่อม ที่มีรอยความไม่ต่อเนื่อง

**4.3 การประชาสัมพันธ์ การจัดสัมมนาและการอบรมเชิงปฏิบัติการ**

จากการประชาสัมพันธ์ข้อมูลข่าวสารการจัดอบรมโครงการพัฒนาบุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลาย พบว่ามีผู้สนใจเข้าร่วมการสัมมนาและอบรมเชิงปฏิบัติการ โดยมีผู้ลงทะเบียนผ่านทางระบบออนไลน์และลงทะเบียนที่หน้างาน ดังข้อมูลรายชื่อในภาคผนวก ก และตารางที่ 4.1 สรุปจำนวนผู้เข้าร่วมโครงการได้ดังนี้

**ตารางที่ 4.1** สรุปจำนวนผู้เข้าร่วมโครงการ

| **รายการการสัมมนาและอบรมเชิงปฏิบัติการ** | **จำนวน (คน)** | **หน่วยงาน (แห่ง)** |
|---|---|---|
| การสัมมนา “วิศวกรรมการทดสอบโดยไม่ทำลาย” | 45 | 17 |
| การสัมมนา “การผลิตและทดสอบผลิตภัณฑ์เพื่อสร้างนวัตกรรม” | 37 | 24 |
| การอบรมเชิงปฏิบัติการทั้ง 5 วิธีการ | 28 | 10 |

จากข้อมูลผลการลงทะเบียนสัมมนาและผู้เข้าอบรมเชิงปฏิบัติการ พบว่ามีผู้ให้ความสนใจโครงการพัฒนาบุคลากรด้านการทดสอบไม่ทำลายเป็นจำนวนไม่น้อยกว่า 30 คน โดยจากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นจำนวนผู้เข้าร่วมสัมมนา “วิศวกรรมการทดสอบโดยไม่ทำลาย” และการสัมมนา “การผลิตและทดสอบผลิตภัณฑ์เพื่อสร้างนวัตกรรม” อีกทั้งการอบรมเชิงปฏิบัติการในแต่ละครั้งนั้นมีผู้เข้ารับการอบรมไม่น้อยกว่า 5 คนต่อวิธีการทดสอบ ซึ่งเป็นไปตามเป้าหมายของโครงการที่ตั้งไว้ โดยที่หัวข้อการฝึกอบรมที่ 4 การทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง นั้นมีผู้ให้ความสนใจเป็นจำนวนมากที่สุด เนื่องจากเป็นวิธีการที่สามารถประยุกต์ใช้ได้ทั่วไปสำหรับทุกกลุ่มอุตสาหกรรม และหากไปอบรมยังหน่วยงานที่จัดฝึกอบรม จะมีค่าใช้จ่ายในการฝึกอบรมที่ค่อนข้างสูง (ประมาณ 25,000 บาท/คน)

การจัดสัมมนา “การผลิตและทดสอบผลิตภัณฑ์เพื่อสร้างนวัตกรรม” ซึ่งมีผู้ประกอบการภาคเอกชนเข้าร่วมด้วยนั้น ในภาคเช้าเป็นกิจกรรมบรรยายเกี่ยวกับการผลิตและการทดสอบผลิตภัณฑ์เพื่อสร้างนวัตกรรม จากการสำรวจความคิดเห็นของผู้ประกอบการ ก่อนที่จะจัดงานสัมมนา พบว่า

**รูปแบบการสัมมนาที่ผู้เข้าร่วมสัมมนาสนใจ คือ**

1. การบรรยายให้ความรู้โดยวิทยากรผู้มีความเชี่ยวชาญ และเป็นอาจารย์มหาวิทยาลัย
2. การเสวนาโดยผู้เชี่ยวชาญและตอบข้อซักถามบนเวที

**กิจกรรมการสัมมนาที่ผู้เข้าร่วมสัมมนาสนใจ คือ**

การบรรยาย (ช่วงเช้า) + การเสวนาตอบข้อซักถาม (ช่วงบ่าย)

จากข้อมูลที่ได้ดำเนินการสำรวจมา ในภาคบ่ายจึงดำเนินการกิจกรรมการเสวนา โดยวิทยากรนักวิชาการ 2 ท่าน และนายกสมาคมการค้าส่งเสริมธุรกิจภาคกลาง ร่วมดำเนินรายการเสวนา เนื้อหาสำหรับการเสวนา แสดงดังตารางที่ 4.2 ผู้เข้าร่วมสัมมนาซึ่งมาจากภาคธุรกิจได้ให้ความสนใจกับการ

พัฒนาผลิตภัณฑ์โดยการใช้นวัตกรรม รวมถึงการปรับปรุงกระบวนการผลิตและมีความต้องการใช้วิธีการตรวจสอบโดยไม่ทำลายกับผลิตภัณฑ์ของตน

**ตารางที่ 4.2** คำถามนำที่ใช้สำหรับการเสวนา “การผลิตและทดสอบผลิตภัณฑ์เพื่อสร้างนวัตกรรม”

| คำถามนำ ที่ใช้สำหรับการเสวนา เวลาประมาณ 60 นาที (14.00-15.00 น.) (ข้อละประมาณ 15 นาที) |
|---|
| 1. การประยุกต์ใช้งานการทดสอบโดยไม่ทำลายในการเพิ่มผลผลิต หรือสร้างนวัตกรรม ทำได้อย่างไรบ้าง |
| 2. มุมมองของนักวิชาการหรือในนามสถาบันการศึกษาในการแนะนำ หรือช่วยเหลือผู้ประกอบการในช่วงภาวะเศรษฐกิจปัจจุบัน มีอะไรบ้าง |
| 3. การพัฒนาทักษะกำลังคน หรือการใช้เครื่องจักรทำงานแทนคน สามารถช่วยเพิ่มการผลิตในมิติใด ได้บ้าง |
| 4. คำถามจากผู้เข้าฟังการเสวนา (หากไม่มีคำถาม ให้ช่วยแชร์ประสบการณ์ ในการช่วยเหลือผู้ประกอบการที่ผ่านมา) |

ผลประเมินความพึงพอใจของการจัดสัมมนาและการอบรมเชิงปฏิบัติการ ดังตารางที่ 4.3 - 4.4 แสดงให้เห็นว่าผู้เข้าร่วมโครงการพัฒนาบุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลาย มีความพึงพอใจอย่างมากและเห็นถึงประโยชน์ของการจัดโครงการนี้ โดยการจัดกิจกรรมสัมมนาทำให้ผู้เข้าร่วมสัมมนารู้จักวิธีการทั้ง 5 วิธี ของการทดสอบโดยไม่ทำลาย ได้เห็นถึงเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบจากกิจกรรม open house ผู้เข้าร่วมสัมมนาส่วนใหญ่ต้องการให้เพิ่มระยะเวลาในการจัดสัมมนา โดยเฉพาะการเพิ่มเวลาสำหรับกิจกรรม open house และการสาธิตวิธีการใช้อุปกรณ์ รวมถึงการจัดอบรมในหัวข้ออื่น ๆ เพิ่มเติม ดังข้อเสนอแนะในตารางที่ 4.5

ในส่วนของการอบรมเชิงปฏิบัติการซึ่งมีการให้ความรู้ทางทฤษฎี และการอบรมภาคปฏิบัติ ผู้เข้าร่วมอบรมมีความประทับใจอยากให้มีการจัดอบรมอย่างต่อเนื่องเป็นประจำ ต้องการให้เพิ่มเวลาการอบรมภาคปฏิบัติ และต้องการให้มีการสอบเพื่อให้ระดับกับผู้เข้าอบรม โดยเฉพาะผู้เข้าอบรมที่มาจากภาคเอกชนซึ่งได้ใช้ประโยชน์ทักษะการทดสอบโดยไม่ทำลายในการปฏิบัติของภาคอุตสาหกรรม มีความต้องการให้เกิดการร่วมงานระหว่างสถาบันการศึกษากับองค์กรภาคเอกชนด้วย ดังข้อเสนอแนะในตารางที่ 4.6

**ตาราง 4.3** ผลการประเมินความพึงพอใจในการจัดสัมมนาโครงการพัฒนาบุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลาย

| หัวข้อ | ค่าเฉลี่ย (เต็ม 5) |
|---|---|
| ท่านได้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับวิศวกรรมการทดสอบโดยไม่ทำลายจากการสัมมนาในครั้งนี้ | 4.32 |
| ท่านคาดว่าจะสามารถนำความรู้และประสบการณ์จากการสัมมนาไปประยุกต์ใช้ในอนาคตได้ | 4.29 |
| กิจกรรมสัมมนาที่จัดขึ้นมีความน่าสนใจ ตรงกับความต้องการของท่าน | 4.41 |
| กิจกรรม Open house มีความน่าสนใจ | 4.32 |
| วันและเวลาที่จัดสัมมนามีความเหมาะสม | 3.85 |
| สถานที่จัดสัมมนามีความเหมาะสม | 4.59 |
| อาหารกลางวันและอาหารว่างมีความเหมาะสม | 4.62 |
| วิทยากรที่บรรยายมีความรู้ความสามารถ | 4.65 |

**ตาราง 4.4** ผลการประเมินความพึงพอใจในการจัดอบรมเชิงปฏิบัติการ โครงการพัฒนาบุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลาย

| หัวข้อ | การทดสอบโดยไม่ทำลาย | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | วิธีพินิจ | วิธีสารแทรกซึม | วิธีอนุภาคแม่เหล็ก | วิธีคลื่นเสียงความถี่สูง | วิธีถ่ายภาพด้วยรังสี | ค่าเฉลี่ยทั้ง 5 วิธีการ |
| | ค่าเฉลี่ย (เต็ม 5) | | | | | |
| ท่านได้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับการทดสอบโดยไม่ทำลาย จากการอบรมเชิงปฏิบัติการในครั้งนี้ | 4.73 | 4.70 | 4.57 | 4.20 | 4.75 | 4.59 |
| ท่านคาดว่าจะสามารถนำความรู้และประสบการณ์จากการอบรมเชิงปฏิบัติการไปประยุกต์ใช้ในอนาคตได้ | 4.82 | 4.60 | 4.57 | 4.20 | 4.50 | 4.54 |
| การอบรมเชิงปฏิบัติการที่จัดขึ้นมีความน่าสนใจ มีประโยชน์และตรงกับความต้องการของท่าน | 4.82 | 4.40 | 4.28 | 4.40 | 4.50 | 4.48 |
| กิจกรรมฝึกทักษะภาคปฏิบัติมีความน่าสนใจ มีประโยชน์และตรงกับความต้องการของท่าน | 4.91 | 4.50 | 4.57 | 4.60 | 4.25 | 4.57 |
| วันและเวลาที่จัดอบรมมีความเหมาะสม | 4.54 | 4.50 | 4.28 | 4.10 | 4.00 | 4.28 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| สถานที่จัดอบรมมีความเหมาะสม | 4.54 | 4.60 | 4.43 | 4.60 | 4.75 | 4.58 |
| อาหารกลางวันและอาหารว่างมีความเหมาะสม | 4.82 | 4.60 | 4.28 | 4.60 | 4.50 | 4.56 |
| วิทยากรที่บรรยายมีความรู้ความสามารถ | 5.00 | 4.70 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 4.94 |
| อุปกรณ์และสื่อการสอนภาคปฏิบัติมีความเหมาะสม | 4.91 | 4.80 | 4.86 | 4.60 | 4.25 | 4.68 |

**ตาราง 4.5** ข้อเสนอแนะจากผู้เข้าร่วมสัมมนา

| ข้อเสนอแนะจากผู้เข้าร่วมสัมมนา |
|---|
| ควรเพิ่มเวลาในการจัดสัมมนา |
| เสนอให้มีการทดลองปฏิบัติใช้งานอุปกรณ์จริงและมีการทดลองใช้เครื่อง |
| น่าจะมีเวลาสาธิต NDT ให้มากกว่านี้ เนื่องจากเวลาไม่เพียงพอสำหรับเรียนรู้อุปกรณ์บางฐาน |
| ควรจัดประจำ ถ้าสามารถเชื่อมโยงกับสภาวิศวกร ในการให้ PDU จะดีอย่างมาก |
| อยากให้เพิ่มเวลาในการเดินดูอุปกรณ์มากขึ้น |
| อยากให้มีการจัดฝึกอบรมในหัวข้ออื่นๆเพิ่มเติม |
| อยากให้มีการจัดเฉพาะหัวข้อ Advance NDT แยกมาจัดเหมือนที่มีแผนจัด VT, PT, MT, UT และ RT |
| เพิ่มเวลากิจกรรม open house |
| อยากให้มี workshop หลาย ๆ แบบของการทดสอบวัสดุ |
| นับเป็นการร่วมมือที่ดีระหว่างสถาบันการศึกษากับองค์กรภาคเอกชน |

**ตาราง 4.6** ข้อเสนอแนะจากผู้เข้าร่วมการอบรมเชิงปฏิบัติการ

| ข้อเสนอแนะจากผู้เข้าร่วมอบรมเชิงปฏิบัติการ |
|---|
| อยากให้มีกิจกรรมแบบนี้อีก |
| อยากให้มีการสอบเพื่อให้ระดับกับผู้อบรมด้วย |
| ควรเพิ่มเวลาภาคปฏิบัติ |
| คารประชาสัมพันธ์ให้มากกว่านี้ เป็นหลักสูตรที่น่าสนใจ |
| ควรร่วมงานกับองค์กรภาคเอกชน เพื่อประโยชน์กับ SMEs มากที่สุด |
| การฝึกปฏิบัติทำให้เข้าใจมากขึ้น |
| ควรจัดเป็นประจำ โดยสัญจรไปตามจังหวัดต่างๆในภูมิภาคตะวันตกปีละครั้ง |
| ควรจัดสัมมนาให้ความรู้เรื่อง NDT แก่ผู้ประกอบการทั่วไป เพื่อให้รู้จักประโยชน์ของ NDTอย่างทั่วถึง |
| หากสามารถเข้าร่วมในโครงข่าย PDU ของสภาวิศวกรจะเป็นประโยชน์ในการศึกษาและพัฒนาความรู้ทางวิศวกรรมแก่วิศวกรได้ |

# บทที่ 5

# สรุปและข้อเสนอแนะ

การจัดโครงการพัฒนาบุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลาย เป็นการประชาสัมพันธ์และสร้างความเข้าใจ เกี่ยวกับการทดสอบโดยไม่ทำลายให้กับบุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลาย ทั้งในสถาบันการศึกษาสังกัดสำนักงานคณะกรรมการอาชีวศึกษาและสถานประกอบการในกลุ่มอุตสาหกรรมบริเวณพื้นที่ภูมิภาคตะวันตกและภาคใต้ตอนบน ผลสัมฤทธิ์ของการจัดโครงการนอกจากการสร้างการรับรู้เกี่ยวกับการทดสอบโดยไม่ทำลายให้เกิดขึ้นในกลุ่มเป้าหมาย ยังทำให้เกิดการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชน อันก่อให้เกิดเป็นเครือข่ายผู้ปฏิบัติงาน ด้านการทดสอบโดยไม่ทำลาย และเครือข่ายความร่วมมือระหว่างสถาบันการศึกษาของรัฐกับผู้ประกอบการเอกชนในกลุ่มอุตสาหกรรมต่อไป

การอบรมเชิงปฏิบัติการในโครงการนี้ เป็นการส่งเสริมให้บุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลายมีความรู้ความสามารถเทียบเท่าบุคลากรระดับ 2 ตามมาตรฐานของสมาคมการทดสอบโดยไม่ทำลายแห่งสหรัฐอเมริกา (ASNT) ผู้ปฏิบัติงานด้านการทดสอบโดยไม่ทำลายที่เข้าร่วมโครงการนี้ได้รับการฝึกอบรมทั้งภาคทฤษฎีและปฏิบัติ จนคุ้นเคยกับวิธีการทดสอบ โดยจัดอบรมทั้งหมด 5 วิธีการ คือ การทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจ การทดสอบโดยวิธีสารแทรกซึม การทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก การทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง และการทดสอบโดยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสี การอบรมเชิงปฏิบัติการนั้นมีบุคลากรการทดสอบโดยไม่ทำลายระดับ 3 (NDT Level III) เป็นผู้ฝึกอบรมและถ่ายทอดองค์ความรู้ บุคลากรด้านการทดสอบโดยไม่ทำลาย ซึ่งผู้เข้าร่วมโครงการมาจากสถาบันการศึกษาและสถานประกอบการในพื้นที่ภูมิภาคตะวันตกและภูมิภาคอื่นๆ ซึ่งผู้ที่เข้าร่วมในโครงการนี้ได้รับการพัฒนาทักษะด้านการทดสอบโดยไม่ทำลายดังกล่าวไป และทั้งนี้ยังเปิดโอกาสให้บุคลากรในภาคอื่นๆ ของประเทศได้รับการอบรมด้วยเช่นกัน โดยที่สามารถสรุปสาระสำคัญได้ดังนี้

## 5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

5.1.1 การจัดสัมมนา “วิศวกรรมการทดสอบโดยไม่ทำลาย” ณ ห้อง Open Classroom อาคารหอสมุด มจธ ราชบุรี มีผู้เข้าร่วมทั้งหมด 45 คน มีหน่วยงานเข้าร่วมทั้งหมด 17 หน่วยงาน

5.1.2 การจัดสัมมนา “การผลิตและทดสอบผลิตภัณฑ์เพื่อสร้างนวัตกรรม” ณ พิณทอง ริเวอร์ไซด์ รีสอร์ท อ.สามพราน จ.นครปฐม มีผู้เข้าร่วมทั้งหมด 37 คน มีหน่วยงานเข้าร่วมทั้งหมด 24 หน่วยงาน

5.1.3 การอบรมเชิงปฏิบัติการทั้ง 5 วิธีการ มีผู้เข้าร่วมทั้งหมด 28 คน มีหน่วยงานเข้าร่วมทั้งหมด 10 หน่วยงาน

5.1.4 คะแนนการประเมินความพึงพอใจในการจัดสัมมนามีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 3.85 - 4.65 (คะแนนเต็ม 5) โดยที่คะแนนของหัวข้อ “วันและเวลาที่จัดสัมมนามีความเหมาะสม” น้อยสุด คือ 3.85 คะแนน และ คะแนนเฉลี่ยสูงสุด 4.65 คะแนน คือหัวข้อ “วิทยากรที่บรรยายมีความรู้ความสามารถ”

5.1.5 คะแนนการประเมินความพึงพอใจในการจัดอบรมเชิงปฏิบัติการ ของแต่ละวิธีมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 4.28 - 4.94 (คะแนนเต็ม 5) โดยที่คะแนนเฉลี่ยของหัวข้อ “วันและเวลาที่จัดสัมมนามีความเหมาะสม” น้อยสุด คือ 4.28 คะแนน และ คะแนนเฉลี่ยสูงสุด 4.94 คะแนน คือหัวข้อ “วิทยากรที่บรรยายมีความรู้ความสามารถ” เช่นเดียวกับการจัดกิจกรรมสัมมนา

**5.2 ข้อเสนอแนะ**

การดำเนินงานโครงการวิจัยนี้มีข้อเสนอแนะในด้านการจัดทำเอกสารประกอบการอบรม เนื่องจากเป็นการรวบรวมข้อมูลจากหลายแหล่งความรู้ จึงทำให้การจัดทำเอกสารใช้ระยะเวลาค่อนข้างนาน ในระหว่างดำเนินการจัดทำเอกสารจึงควรที่จะดำเนินการประชาสัมพันธ์การจัดโครงการสัมมนาก่อน เพื่อสร้างการรับรู้ข้อมูลข่าวสารให้กับกลุ่มเป้าหมายได้ครอบคลุมทุกพื้นที่เป้าหมาย และการจัดสัมมนาครั้งถัดไปควรเพิ่มระยะเวลาการจัดกิจกรรม open house ตามที่ผู้เข้าร่วมโครงการที่ผ่านมาได้ให้คำแนะนำไว้ ซึ่งกิจกรรมการสาธิตเครื่องมือและการทดลองใช้งานอุปกรณ์ในเบื้องต้น เป็นกิจกรรมที่ผู้เข้าร่วมโครงการส่วนใหญ่ให้ความสนใจอย่างมาก

## เอกสารอ้างอิง

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.9712-2550, 2551, การทดสอบโดยไม่ทำลาย - คุณสมบัติและการรับรองบุคลากร, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม.

มยผ. 1561-51 ถึง 1565-51, 2551, มาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อมโครงเหล็กรูปพรรณด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย, กรมโยธาธิการและผังเมือง, กระทรวงมหาดไทย.

อาษา ประทีปเสน, 2550, การทดสอบโดยไม่ทำลายในงานเชื่อมและงานวิจัย, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ, หน้า 1-13 และ 51-222

NDT Resource center. “NDT Course Material”. Online document https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/communitycollege.php. accessed on Sep 21, 2016.

The American Society for Nondestructive Testing, 2011, Recommended Practice No. SNT-TC-1A: Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing, United States of America.

# ภาคผนวก ก

**ตาราง ก.1** รายชื่อผู้เข้าร่วมสัมมนา “วิศวกรรมการทดสอบโดยไม่ทำลาย” วันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2563 ณ ห้อง Open Classroom อาคารหอสมุด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (ราชบุรี)

| ลำดับที่ | ชื่อ นามสกุล | ชื่อบริษัท/หน่วยงาน | ตำแหน่ง |
|---|---|---|---|
| 1 | นางสาวณภัสนันท์ ศักดิ์เสงี่ยม | บริษัท เอสพาเนล จำกัด | Assistant marketing manager |
| 2 | นางอรนุช จินดาสกุลยนต์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง | อาจารย์ |
| 3 | นางสาวชลิตา ไม่ยาก | บริษัท ส.ไทยสร้างเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด | วิศวกร |
| 4 | นายวีรพงศ์ ลบตุ้ม | สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ | วิศวกรควบคุมการผลิต |
| 5 | นายปริญญา ทราจารวัฒน์ | Christy Gem Co., Ltd. | General Manager |
| 6 | นายทินกร  คำธิ | Christy Gem Co.,Ltd. | R&D Engineer |
| 7 | นางสาวกัญญณัช  คุณาบุตร | Christy Gem Co.,Ltd. | |
| 8 | นายวัชรา ณ ระนอง | ประกอบอาชีพอิสระ | วิศวกรโยธา |
| 9 | นายวรพจน์ จิตรภักดี | บริษัท บี.เอ็ม.เอ.ซีวิลเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด | ช่างเทคนิค |
| 10 | นายสุรเชษฐ์ ลิ้มลิขิตอักษร | บริษัท บี.เอ็ม.เอ.ซีวิลเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด | ช่างเทคนิค |
| 11 | นางสาวจิตติมา เส็มเจริญ | วิทยาลัยเทคนิคราชสิทธาราม | ครู |
| 12 | นางอรนุช จินดาสกุลยนต์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง | อาจารย์ |
| 13 | นายรวี ชวนปี | มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง | นักศึกษา |
| 14 | นายชวนิล จันทร์บาง | มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง | นักศึกษา |
| 15 | นายตรีดา ชลวิทย์สกุล | มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง | นักศึกษา |
| 16 | นางสาวนุสรา รุ่งเรือง | มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง | นักศึกษา |
| 17 | นายเทวบุตร กุมารทอง | มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง | นักศึกษา |
| 18 | นายณัฐนนท์ เปี่ยมจู | มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง | นักศึกษา |
| 19 | นายปริญ วีระนนท์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง | นักศึกษา |
| 20 | นายอนุชิต บุตรพราว | มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง | นักศึกษา |
| 21 | นายปู แอระ | มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง | นักศึกษา |
| 22 | นายวรุตน์ คาดหมาย | มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง | นักศึกษา |
| 23 | นางสาวธนัชพร  บุญประเสริฐ | มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง | นักศึกษา |
| 24 | นางสาวจิราภรณ์ เลี่ยนเตี๊ยะ | มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง | นักศึกษา |
| 25 | นายรัตน์ มากคุณ | BIS Surveyors Ltd. | วิศวกร |
| 26 | นายบุญเหลือ ขวัญศรี | บ. เค ทู เอ็ม คอนซัลแตนท์ แอนด์ เซอร์วิสเซส จก. | Engineer |
| 27 | นายอุทัย แสงบุตร | Thaipolymersupply | Engineer |

**ตาราง ก.1 รายชื่อผู้เข้าร่วมสัมมนา “วิศวกรรมการทดสอบโดยไม่ทำลาย” (ต่อ)**

| ลำดับที่ | ชื่อ นามสกุล | ชื่อบริษัท/หน่วยงาน | ตำแหน่ง |
|---|---|---|---|
| 28 | นายนุกูล แฟงอ่อน | บริษัทวังมะนาวเกษตรภัณฑ์ จำกัด | หัวหน้าผลิต-ซ่อมบำรุง |
| 29 | MR.NAY HTET LIN (เรน) | บริษัท วังมะนาวเกษตรภัณฑ์ จำกัด | กรรมกร |
| 30 | นายอานันท์ สิริสุรยกมลชัย | บริษัทวังมะนาวเกษตรภัณฑ์ จำกัด | พนักงานซ่อม-บำรุง |
| 31 | นายพนม มารื่น | Siamsteelworks | QA |
| 32 | นายชนวีร์ ยอดสม | Siamsteelworks | วิศวกร |
| 33 | นายธัญวิสิฐ ศิริเพ็ญพร | Siam Splendid Steel | ผู้จัดการ |
| 34 | วรพจน์ จิตรภักดี | บริษัท บี.เอ็ม.เอ.ซีวิลเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด | |
| 35 | สุรเชษฐ์ ลิ้มลิขิตอักษร | บริษัท บี.เอ็ม.เอ.ซีวิลเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด | |
| 36 | Mr.Kiatipoom Ninlapoom | TechnipFMC | Mechanical Engineer (Static Equipment) |
| 37 | นายใหม่ น้อยพิทักษ์ | ศูนย์บริการทางการศึกษาราชบุรี มจธ. | Lecturer |
| 38 | นางสาวกมลวรรณ อูปเงิน | ศูนย์บริการทางการศึกษาราชบุรี มจธ. | Lecturer |
| 39 | นายสุทธิพงษ์ ปานโชติ | ศูนย์บริการทางการศึกษาราชบุรี มจธ. | นายช่างเทคนิค |
| 40 | นายวรายุทธ พูนนายม | ศูนย์บริการทางการศึกษาราชบุรี มจธ. | ช่างเทคนิค |
| 41 | นายขวัญชัย ใจมุ่ง | สำนักคอมพิวเตอร์ มจธ.ราชบุรี | นักคอมพิวเตอร์ |
| 42 | นางสาวชนิตรา ดำรงกิจ | ศูนย์บริการทางการศึกษาราชบุรี มจธ. | |
| 43 | นายกิตตินันท์ สดใส | ศูนย์บริการทางการศึกษาราชบุรี มจธ. | |
| 44 | นายชานนท์ เฉียบแหลม | ศูนย์บริการทางการศึกษาราชบุรี มจธ. | |
| 45 | นายชนกานต์ เฉียบแหลม | ศูนย์บริการทางการศึกษาราชบุรี มจธ. | |

**ตาราง ก.2** รายชื่อผู้เข้าร่วมสัมมนา “การผลิตและทดสอบผลิตภัณฑ์เพื่อสร้างนวัตกรรม” วันที่ 18 กรกฎาคม 2563 ณ พิณทอง ริเวอร์ไซด์ รีสอร์ท อ.สามพราน จ.นครปฐม

| ลำดับ | ชื่อ-สกุล ผู้เข้าร่วม | ชื่อสถานประกอบการ |
|---|---|---|
| 1 | ดร.ปิยพัชร์ ภูศิริ | Bangkok Health Club |
| 2 | นายไพศาล ว่องไวกลยุทธ์ | ประธานสภาอุตสาหกรรมจังหวัดสุพรรณบุรี |
| 3 | นายพีรพัทธ์ วงค์กมลพร | เลขาธิการสภาอุตสาหกรรมจังหวัดสุพรรณบุรี |
| 4 | นายพิชิต ตั้งสุข | ประธานหอการค้า จังหวัดราชบุรี |
| 5 | นางสาคร อุปมา | ภรรยา ประธานหอการค้า จังหวัดราชบุรี |
| 6 | นายคงคา คูณพันธ์ | บริษัทชูบุราชบุรี อิเลคทริคเซอร์วิส จำกัด |
| 7 | นายเลิศชัย นากสุข | บริษัท ยูโรเบสท์ เทคโนโลยี จำกัด |
| 8 | นายอุคม ใจเย็น | บริษัท อาร์แอนด์ดี ฟู้คส์ โปรดักส์ จำกัด |
| 9 | นางสาวชลิตา กิตติพลัง | ห้างหุ้นส่วนจำกัด ธนาอาภรณ์ |
| 10 | รศ.(พิเศษ) คร.ตฤณ วงษ์ขันธ์ | บริษัท ทองเพชร อาหารไทย จำกัด |
| 11 | นายสุริยะ ไสตถินิรันคร | บริษัท ยูนิคทูลส์ จำกัด |
| 12 | นายอุทัย ฉันทวิทย์ | บริษัท โกลบอล อินโนเวทีฟ โปรคักส์ |
| 13 | นางสาวนนทนี แสงทับทิม | บริษัท แสงทับทิม อินเตอร์ จำกัด |
| 14 | นายปองพล นนท์ประสาท | บริษัท แสงทับทิม อินเตอร์ จำกัด |
| 15 | นางพิมพ์ยุภา ฤทธิชัยณารากรณ์ | บริษัท เพชรสมุทรศีรี จำกัด |
| 16 | นางกาญจนา ฟ็อกซ์ | บริษัท เคเอสเอส กรุ๊ป จำกัด |
| 17 | นางวิไล ตันสกุล | บริษัท พี เค เบเกอรี่ จำกัด |
| 18 | นางสมจิตร สรสิทธิ์ | บริษัท ส.สรสิทธิ์ก่อสร้าง จำกัด |
| 19 | นางสาวชุติกาญจน์ ไชยคำ | บริษัท พรพระนาง จำกัด |
| 20 | นายปรีชา แสนนอก | บริษัท พีแอลเอสซี เบส โซกูชั่น จำกัด |
| 21 | นางสาวลภัสภัสสร โชติธนสุรีย์กร | บริษัท พีแอลอสซี เบส โซกูชั่น จำกัด |
| 22 | นายพงษ์เทพ เทียนทับทิม | บริษัท จตุรเจริญชัย จำกัด |
| 23 | นายอรรถชัย ขำพรพิมพ์ | บริษัท จตุรเจริญชัย จำกัด |
| 24 | นายชาญชัย เอื้อจารุพร | วิทยากรอิสระ |
| 25 | นางสาวทิพภาพร โรจนจิรัง | สนง.ประกันภัย คร.วินัย รุ่งฤทธิเคช |
| 26 | นางสาวเพียรวี ประคำมินทร์ | หจก.มิสเตอร์ทอม เอ็นจิเนียริง |
| 27 | บุษรินทร์ จรบุรมย์ | หจก.มิสเตอร์ทอม เอ็นจิเนียริง |
| 28 | นายเลอศักดิ์ ลิ้มทับ | หจก.มิสเตอร์ทอม เอ็นจิเนียริง |
| 29 | นายคงคา คูณพันธ์ | ชูบุราชบุรี จำกัด |
| 30 | สมเจตน์ วุฒิเลิศเจริญวังค์ | บริษัท เอ๊กโก้ฟอร์จจิ้งโปรดักส์จำกัด |

**ตาราง ก.2** รายชื่อผู้เข้าร่วมสัมมนา “การผลิตและทดสอบผลิตภัณฑ์เพื่อสร้างนวัตกรรม” (ต่อ)

| ลำดับ | ชื่อ-สกุล ผู้เข้าร่วม | ชื่อสถานประกอบการ |
|---|---|---|
| 32 | ดร.พงษ์ศักดิ์ ถึงสุข | มจธ. |
| 33 | ผศ.ดร.ใหม่ น้อยพิทักษ์ | มจธ.ราชบุรี |
| 34 | ผศ.ดร.กมลวรรณ อูปเงิน | มจธ.ราชบุรี |
| 35 | ชานนท์ เฉียบแหลม | มจธ.ราชบุรี |
| 36 | ชนกานต์ เฉียบแหลม | มจธ.ราชบุรี |
| 37 | วราภรณ์ จินดาบัญญัติ | มจธ.ราชบุรี |

**ตาราง ก.3** รายชื่อผู้เข้าร่วมอบรมเชิงปฏิบัติการ ทั้ง 5 วิธีการ

| ลำดับ | ชื่อ-สกุล ผู้เข้าร่วม | ชื่อสถานประกอบการ/สถาบัน |
|---|---|---|
| 1 | นางอรนุช จินดาสกุลยนต์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง |
| 2 | นางสาวนุสรา รุ่งเรือง | มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง |
| 3 | นายวรุตน์ คาดหมาย | มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง |
| 4 | นายไพศาล ชมพู | มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง |
| 5 | นายเจษฎา ร่มโพธิ์ทอง | มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง |
| 6 | นายอนุชิต บุตรพราว | มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง |
| 7 | นางสาวจิราภรณ์ เลี่ยนเตี๊ยะ | มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง |
| 8 | นายชวนิล จันทร์บาง | มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง |
| 9 | นายปู แอระ | มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง |
| 10 | นางสาวตรีดา ชลวิทย์สกุล | มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง |
| 11 | นายณัฐนนท์ เปี่ยมจู | มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง |
| 12 | นางสาวธนัชพร บุญประเสริฐ | มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง |
| 13 | นายเทวบุตร กุมารทอง | มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง |
| 14 | นายปริญ วีระนนท์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง |
| 15 | นายรวี ชวนปี | มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง |
| 16 | นางสาวจิตติมา เส็มเจริญ | วิทยาลัยเทคนิคราชสิทธาราม |
| 17 | นายรัตน์ มากคุณ | BIS Surveyors Ltd. |
| 18 | นายประเสริฐ เทศะบำรุง | บริษัทอิตัลไทยจำกัด |
| 19 | นายธัญวิสิฐ ศิริเพ็ญพร | บริษัท Siam Splendid Steel |
| 20 | นายบุญเหลือ ขวัญศรี | บ. เค ทู เอ็ม คอนซัลแตนท์ แอนด์ เซอร์วิสเซส จก. |
| 21 | ดร.วินัย รุ่งฤทธิเดช | บริษัทจตุรเจริญชัย จำกัด |
| 22 | นายทินกร  คำธิ | Christy Gem Co.,Ltd. |

**ตาราง ก.3** รายชื่อผู้เข้าร่วมอบรมเชิงปฏิบัติการ ทั้ง 5 วิธีการ (ต่อ)

| ลำดับ | ชื่อ-สกุล ผู้เข้าร่วม | ชื่อสถานประกอบการ/สถาบัน |
|---|---|---|
| 23 | นางสาวมาลีวัลย์ เกิดใหม่ | บ. อิตาเลียนไทย ดีเวล๊อปเมนต์ จำกัด |
| 24 | นางสาวณณัฏฐศิริ จันดี | บ. อิตาเลียนไทย ดีเวล๊อปเมนต์ จำกัด |
| 25 | นายสันหณัฐ ดุลพินิจธรรมา | บ. อิตาเลียนไทย ดีเวล๊อปเมนต์ จำกัด |
| 26 | นายพูลสวัสดิ์ รัตนา | บ. อิตาเลียนไทย ดีเวล๊อปเมนต์ จำกัด |
| 27 | นายสุทธิพงษ์ ปานโชติ | ศูนย์บริการทางการศึกษาราชบุรี มจธ. |
| 28 | นายวรายุทธ พูนนายม | ศูนย์บริการทางการศึกษาราชบุรี มจธ. |

**ภาคผนวก ข**

**เอกสารประชาสัมพันธ์การจัดสัมมนา และการฝึกอบรมภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ**

**รูปที่ ข.1** แผ่นประชาสัมพันธ์งานสัมมนาหัวข้อ “วิศวกรรมการทดสอบโดยไม่ทำลาย”

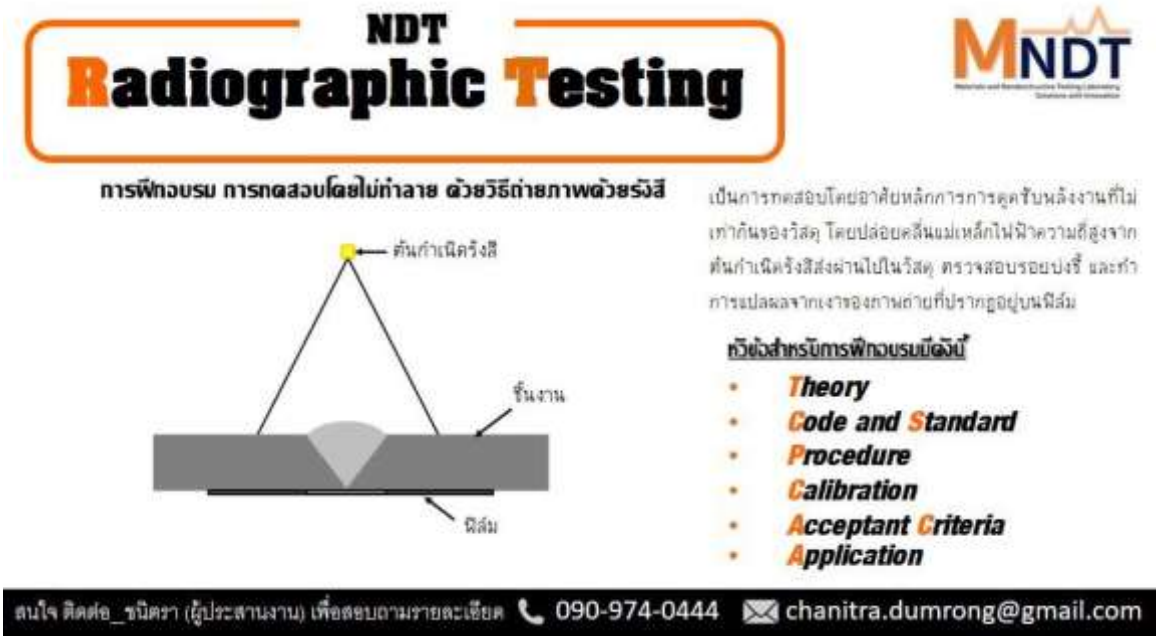
**รูปที่ ข.2** แผ่นประชาสัมพันธ์การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ “การทดสอบโดยไม่ทำลาย” 5 วิธีการ

**รูปที่ ข.3** แผ่นประชาสัมพันธ์การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ “การทดสอบโดยวิธีตรวจพินิจ”

**รูปที่ ข.4** แผ่นประชาสัมพันธ์การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ “การทดสอบโดยวิธีสารแทรกซึม”

**รูปที่ ข.5** แผ่นประชาสัมพันธ์การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ “การทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก”

**รูปที่ ข.6** แผ่นประชาสัมพันธ์การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ “การทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง”




**รูปที่ ข.7** แผ่นประชาสัมพันธ์การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ “การทดสอบโดยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสี”

**รูปที่ ข.8** แผ่นประชาสัมพันธ์งานสัมมนาหัวข้อ "การผลิตและทดสอบผลิตภัณฑ์เพื่อสร้างนวัตกรรม"

**รูปที่ ข.9** QR code เพื่อเข้าถึงข้อมูล facebook page ของหน่วยวิจัยวัสดุและการทดสอบโดยไม่ทำลาย

**รูปที่ ข.10** กำหนดการจัดอบรมเชิงปฏิบัติการ “การทดสอบโดยวิธีตรวจพินิจ”

**รูปที่ ข.11** กำหนดการจัดอบรมเชิงปฏิบัติการ “การทดสอบโดยวิธีสารแทรกซึม”

**รูปที่ ข.12** กำหนดการจัดอบรมเชิงปฏิบัติการ “การทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก”

**รูปที่ ข.13** กำหนดการจัดอบรมเชิงปฏิบัติการ “การทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง”

**รูปที่ ข.14** กำหนดการจัดอบรมเชิงปฏิบัติการ “การทดสอบโดยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสี”

# ภาคผนวก ค

**รูปที่ ค.1 ภาพงานสัมมนา “วิศวกรรมการทดสอบโดยไม่ทำลาย”**

**รูปที่ ค.2 ภาพงานสัมมนา “การผลิตและทดสอบผลิตภัณฑ์เพื่อสร้างนวัตกรรม”**

การผลิตและทดสอบผลิตภัณฑ์เพื่อสร้างนวัตกรรม
SEV
CURRENT
M&M

MNDT

M&M PEST
THAILAND
KJP
CONS
KONNER

**ภาคผนวก ง**

**ภาพการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ**

**รูปที่ ง.1-8** การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ “การทดสอบโดยวิธีตรวจพินิจ”

| | |
|---|---|
| **ง.1** | |
| **ง.2** | |

| | |
|---|---|
| ง.3 | |
| ง.4 | |

| | |
|---|---|
| ง.5 | |
| ง.6 | |

| | |
|---|---|
| ง.7 | |
| ง.8 | |

**รูปที่ ง.9-16** การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ “การทดสอบโดยวิธีสารแทรกซึม”

| | |
|---|---|
| **ง.9** | |
| **ง.10** | |

| | |
|---|---|
| ง.11 | |
| ง.12 | |

| | |
|---|---|
| ฯ.13 | |
| ฯ.14 | |

| | |
|---|---|
| ง.15 | |
| ง.16 | |

**รูปที่ ง.17-24** การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ “การทดสอบโดยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก”

| | |
|---|---|
| **ง.17** | |
| **ค.18** | |

| | |
|---|---|
| ค.19 | |
| ค.20 | |

| | |
|---|---|
| ค.21 | |
| ค.22 | |

| | |
|---|---|
| ค.23 | |
| ค.24 | |

**รูปที่ ง.25-32** การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ “การทดสอบโดยวิธีคลื่นเสียงความถี่สูง”

| | |
|---|---|
| **ง.25** | |
| **ค.26** | |

| | |
|---|---|
| ค.27 | |
| ค.28 | |

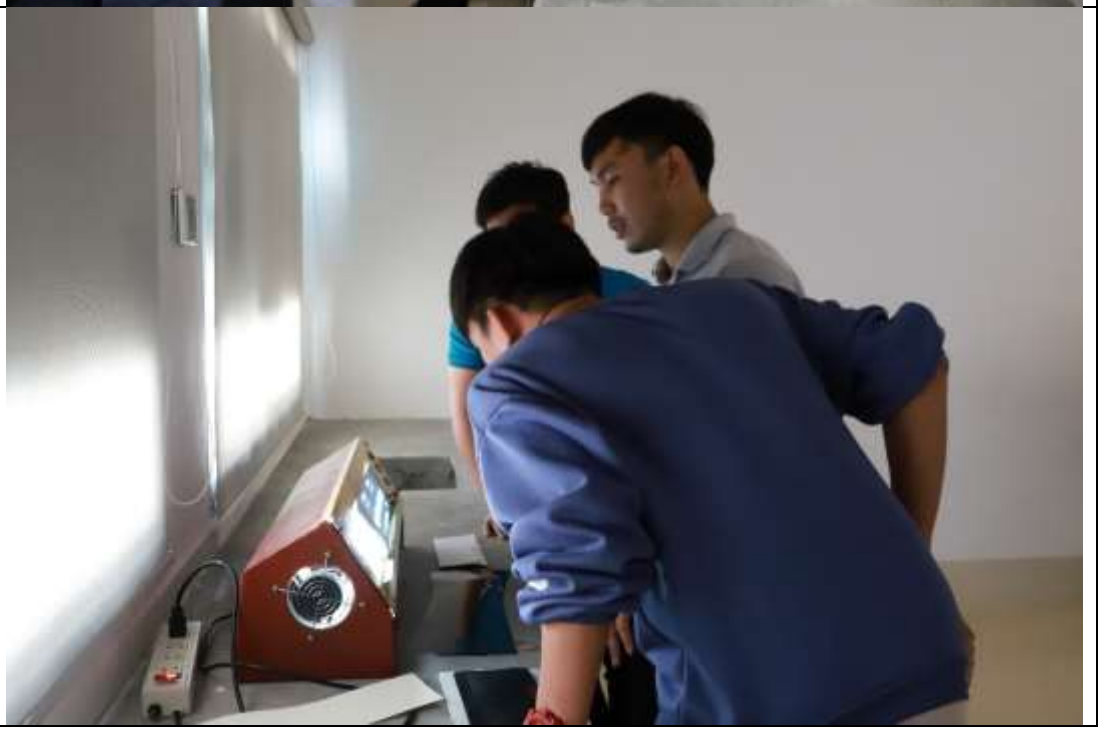
| | |
|---|---|
| ค.29 | |
| ค.30 | |

| | |
|---|---|
| ค.31 | |
| ค.32 | |

**รูปที่ ง.33-40** การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ “การทดสอบโดยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสี”

| | |
|---|---|
| **ง.33** | |
| **ค.34** | |

| | |
|---|---|
| ค.35 | |
| ค.36 | |

| | |
|---|---|
| ค.37 | |
| ค.38 |  |

| | |
|---|---|
| ค.39 | |
| ค.40 | |