



รายงานผลการดำเนินงาน

โครงการวิจัย

เครื่องตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพ
(Vision Inspection Machine)

โดย

ผศ.ดร. พรชัย นิเวศน์รังสรรค์

ผศ.ดร. วราคม เนติน้อย

ดร. วชิรินทร์ หนูทอง

ผศ. ศิริชัย พุฒวัฒนะ

TNI

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	3
บทที่ 1 บทนำ.....	4
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	4
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.5 การเผยแพร่ผลงานวิจัย	5
1.6 หน่วยงานที่คาดว่าจะมีการนำผลวิจัยไปใช้ประโยชน์	5
1.8 แผนการดำเนินงาน.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.2 พื้นฐานเกี่ยวกับระบบภาพ.....	9
2.3 การสอบเทียบกล้อง (Camera Calibration).....	17
2.4 โปรแกรม.....	19
2.5 สรุปแนวทางการวิจัย	20
บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย.....	21
3.1 การดำเนินงานวิจัย	21
3.2 ชุดต้นแบบการตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพ.....	21
3.3 โปรแกรมตรวจสอบชิ้นงาน	23
3.4 การทดลอง.....	28
บทที่ 4 การตรวจวัดชิ้นงานด้วยภาพ	30
4.1 บทนำ.....	30

4.2 การตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพ.....	30
4.3 ผลการทดสอบ.....	32
4.4 สรุปผลการทดสอบ.....	35
บทที่ 5 การตรวจวัดการทำสัญลักษณ์บนท่อไฮดรอลิก.....	36
5.1 บทนำ.....	36
5.2 การทำสัญลักษณ์บนท่อไฮดรอลิก.....	36
5.3 การตรวจสอบการทำสัญลักษณ์บนท่อ.....	38
5.4 วิธีการตรวจสอบการทำสัญลักษณ์บนท่อ.....	39
4.5 สรุปผลการทดสอบ.....	43
บทที่ 6 ผลดำเนินการ.....	44
6.1 การพัฒนาเครื่องต้นแบบ.....	44
6.2 ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์.....	44
6.3 สรุปการใช้งบประมาณโครงการวิจัย.....	45
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัย.....	46
7.1 สรุป.....	46
7.2 ข้อเสนอแนะ.....	46
ภาคผนวก ก Drawing ของชุดต้นแบบ Vision Kit.....	49
ภาคผนวก ข รายละเอียดของกล้องและเลนส์.....	53
ภาคผนวก ค ประวัติคณะผู้ดำเนินงานวิจัย.....	68
ภาคผนวก ง ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์.....	71

บทคัดย่อ

การตรวจวัดชิ้นงานในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนได้มีการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดพื้นฐาน เช่น เวอร์เนียไมโครมิเตอร์ เป็นต้น เพื่อใช้ในการตรวจสอบขนาดระหว่างกระบวนการผลิตซึ่งจะช่วยลดของเสียและเพิ่มคุณภาพของชิ้นงาน การพัฒนาคอมพิวเตอร์อย่างก้าวกระโดดทำให้เทคโนโลยีทางการวัดได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็วเช่นกัน การใช้ระบบกล้องและโปรแกรมประมวลผลเพื่อนำมาใช้ในการตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพได้มีการพัฒนาและประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย โครงการวิจัยนี้จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อพัฒนาระบบตรวจวัดชิ้นงานด้วยภาพและโปรแกรมสำหรับตรวจสอบ ซึ่งระบบที่พัฒนาขึ้นจะนำไปใช้ในการเรียนการสอน การทำวิจัย และการแก้ปัญหาของอุตสาหกรรม ผลการดำเนินงานของโครงการวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างชุดตรวจวัดชิ้นงานด้วยภาพ ซึ่งประกอบด้วย ชุดจับยึดกล้องดิจิทัล โครงฐานของชุดตรวจสอบชิ้นงาน กล้องดิจิทัลขนาด 10 Mpixels เลนส์มาตรฐาน 12 mm และ 25 mm และ เลนส์ขยาย 30X-160X ขนาดของชิ้นงานที่สามารถตรวจสอบได้มีขนาดไม่เกิน 540 mm x 400 mm ส่วนของโปรแกรมได้พัฒนาโปรแกรมที่สามารถใช้ในการตรวจวัดความผิดปกติของชิ้นงานตามตำแหน่งที่กำหนดเพื่อตรวจสอบว่ามีครบตามแบบที่กำหนดหรือไม่ เช่น ตำแหน่งรูเจาะ ร่อง ส่วนเว้า โค้ง เป็นต้น ระบบตรวจวัดและโปรแกรมที่พัฒนาสามารถใช้ตรวจวัดความผิดปกติที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานได้ โดยสามารถวัดพร้อมกันได้ไม่เกิน 5 ตำแหน่ง โปรแกรมที่ใช้ตรวจสอบชิ้นงานจะพัฒนาจากโปรแกรม LabVIEW ระบบที่พัฒนาสามารถทำงานได้ตามขอบเขตที่กำหนดไว้ สามารถใช้ในการเรียนการสอน การทำวิจัย และประยุกต์ใช้ในสายการผลิตได้ ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายและลดของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตได้

TNI

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ปัจจุบันการนำเทคโนโลยีทางด้านการประมวลผลด้วยภาพได้มีการพัฒนาและมีความสามารถมากขึ้น เนื่องจากคอมพิวเตอร์มีความสามารถและประมวลผลได้รวดเร็วขึ้น การตรวจสอบชิ้นงานในกระบวนการผลิตได้มีการประยุกต์เทคนิคการวัดด้วยภาพ เพื่อให้การตรวจสอบชิ้นงานรวดเร็วขึ้นและลดจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตซึ่งเป็นต้นทุนในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม การประยุกต์เทคนิคการวัดและเทคโนโลยีสมัยใหม่สามารถช่วยแก้ปัญหานี้ได้เช่น การตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพโดยใช้กล้องถ่ายภาพและนำมาประมวลผลเพื่อหาขนาดชิ้นงาน ซึ่งเป็นวิธีการที่รวดเร็ว งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้อุปกรณ์ราคาประหยัดมาใช้พัฒนาระบบตรวจวัดด้วยภาพอย่างง่ายเพื่อใช้ในการเรียนการสอน และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม ระบบวัดด้วยภาพที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมีราคาค่อนข้างสูงจึงทำให้เกิดแนวคิดที่จะพัฒนาระบบตรวจวัดด้วยภาพที่มีราคาประหยัด นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการตรวจวัดด้วยภาพ เช่น ขนาดของชิ้นงาน ขนาดของภาพ ความซับซ้อนของชิ้นงาน ความหนาของชิ้นงาน เป็นต้น งานวิจัยนี้จะพัฒนาโปรแกรมที่ใช้ตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพโดยใช้โปรแกรม LabVIEW และ ออกแบบและสร้างชุดเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพ เพื่อใช้เป็นเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ให้นักศึกษาทั้งระดับ ป. ตรี และ ป. โท ได้ใช้ในการศึกษาและทำงานโครงงานและงานวิจัยด้านการตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อพัฒนาระบบตรวจสอบชิ้นงานด้วยการถ่ายภาพ
- 1.2.2 เพื่อพัฒนาโปรแกรม LabVIEW เพื่อตรวจสอบชิ้นงานว่ามีจุดที่ต้องการตรวจสอบตรงตามแบบที่กำหนดหรือไม่เช่น จำนวนรูเจาะ ตำแหน่งร่อง ตำแหน่งสกรู ขนาดรูเจาะ เป็นต้น
- 1.2.3 พัฒนาเป็นชุดต้นแบบ เพื่อใช้ในการเรียนการสอน และให้นักศึกษาใช้ศึกษาและพัฒนาเพื่อทำโครงงานวิศวกรรมหรือวิทยานิพนธ์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 การออกแบบและสร้างชุดตรวจสอบชิ้นงานด้วยการถ่ายภาพ โดยชุดต้นแบบจะมีการออกแบบโครงสร้าง ชุดยึดกล้อง ชุดปรับระดับกล้อง เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้การตรวจสอบชิ้นงานด้วยการถ่ายภาพ
- 1.3.2 การเลือกกล้องอุตสาหกรรมและเลนส์ที่เหมาะสมต่อการใช้งานการตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพ

1.3.3 การออกแบบและพัฒนาโปรแกรม LabVIEW ให้สามารถใช้งานร่วมกับกล้องถ่ายภาพและระบบตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพ

1.3.4 ระยะเวลาของโครงการนี้จะใช้ระยะเวลาในการดำเนินการของงานต่าง ๆ ประมาณ 1 ปี

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ประยุกต์ใช้เป็นเครื่องต้นแบบให้นักศึกษาเรียนรู้หลักการตรวจสอบชิ้นงานด้วยการถ่ายภาพ

1.4.2 ประยุกต์ใช้เป็นเครื่องต้นแบบสำหรับนักศึกษาระดับ ป ตรี เพื่อใช้ในการทำโครงงานวิศวกรรม และ ป.โท เพื่อใช้ในการทำวิทยานิพนธ์เกี่ยวกับการตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพ

1.4.3 พัฒนารูปแบบการตรวจสอบและการวัดชิ้นงานด้วยการถ่ายภาพของชิ้นส่วนยานยนต์หรือชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่มีรูปร่างซับซ้อนจากกระบวนการผลิต เช่น ชิ้นงานหล่ออลูมิเนียม เฟือง ชิ้นงานปั๊มขึ้นรูป ท่อไฮดรอลิก เป็นต้น

1.5 การเผยแพร่ผลงานวิจัย

คาดว่าจะมีการตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการระดับชาติหรือระดับนานาชาติ หรือในวารสารวิชาการระดับชาติหรือนานาชาติที่อยู่ในฐานข้อมูลทางสถาบันยอมรับอย่างน้อย 1 บทความ

1.6 หน่วยงานที่คาดว่าจะมีการนำผลวิจัยไปใช้ประโยชน์

ผลงานวิจัยที่ศึกษาสามารถนำไปใช้เพื่อการเรียนการสอน และใช้เป็นตัวอย่างสำหรับนักศึกษา อุตสาหกรรม และผู้สนใจ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่ต้องการประยุกต์ใช้ เมื่อผลการวิจัยมีตัวอย่างชิ้นงานวิจัยที่เพียงพอและครอบคลุมอุตสาหกรรมเป้าหมายเช่น อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ สามารถพัฒนาโปรแกรมเพื่อนำไปใช้เชิงพาณิชย์ได้

1.7 งบประมาณ

งบประมาณตลอดโครงการจำนวน 250,000 บาท โดยแบ่งออกเป็น 5 หมวด ดังนี้

หมวดค่าใช้จ่าย	บาท	สต.
1. หมวดค่าจ้างพนักงานชั่วคราว	-	
2. หมวดค่าใช้สอย	-	
3. หมวดค่าตอบแทน	-	
4. หมวดค่าวัสดุเพื่อการวิจัย - วัสดุสิ้นเปลือง เช่น ▪ อลูมิเนียม น็อต สกรู ▪ สายไฟ ▪ ไอซี ท่อหด ที่รัดสาย และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	2,000 500 2,500	
5. หมวดค่าครุภัณฑ์เพื่อการวิจัย - คอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง - กล้องอุตสาหกรรมและเลนส์สำหรับถ่ายภาพชิ้นงาน 1 ชุด - ฐานและชุดยึดกล้อง (จ้างผลิต)	125,000 100,000 20,000	
(ตัวอักษร...สองแสนห้าหมื่นบาทถ้วน..) รวมเงิน	250,000	

1.8 แผนการดำเนินงาน

1) ระยะเวลาการดำเนินงานรวมทั้งสิ้น 1 ปี

โดยเริ่มตั้งแต่เดือนมีนาคม พ.ศ.2561 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ.2562

2) ขั้นตอนการดำเนินงาน

กิจกรรมการวิจัย	เดือน											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. ออกแบบและสร้างชุดตรวจสอบด้วยภาพ												
2. เลือกอุปกรณ์												
3. พัฒนาโปรแกรม												
4. ทดลองการใช้งาน												
5. สรุปผลการทดลอง												
6. รายงานผลการวิจัย												

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ และเครื่องมือต่าง ๆ ได้มีการแข่งขันทางธุรกิจที่ทวีความรุนแรงขึ้นทุกขณะ ผลิตภัณฑ์ที่มีผลิตได้คุณภาพ และต้นทุนการผลิตต่ำเท่านั้นที่จะสามารถแข่งขันในตลาดได้ รวมถึงมาตรการการกีดกันทางการค้าและระบบคุณภาพต่าง ๆ เป็นต้น การผลิตที่ทำให้สินค้ามีคุณภาพและต้นทุนการผลิตต่ำได้มีการใช้เทคนิคการจัดการสมัยใหม่ต่าง ๆ เข้ามาช่วยปรับปรุงการผลิตเช่น Kaizen, TPS, TQC, TPM เป็นต้น เพื่อให้กระบวนการผลิตดีขึ้น ซึ่งทุกบริษัทส่วนใหญ่ได้ปรับปรุงวิธีการจัดการในลักษณะเดียวกันแทบทุกบริษัท การลดต้นทุนที่ทำให้เกิดของเสียและข้อผิดพลาดจากกระบวนการผลิตที่น้อยที่สุดจำเป็นต้องมีการตรวจสอบชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์ระหว่างกระบวนการผลิตจึงจะทำให้ลดรู้ปัญหาและลดต้นทุนจากของเสียที่เกิดขึ้นให้น้อยที่สุด การตรวจสอบชิ้นงานด้วยวิธีปกติโดยพนักงานใช้เครื่องมือวัดพื้นฐานตรวจวัดชิ้นงานระหว่างผลิตจะเป็นการเพิ่มภาระให้กับพนักงานที่สถานีผลิตมากเกินไปและพนักงานอาจเกิดความล้าทำให้ผลผลิตไม่ได้ตามเป้าหมาย ดังนั้นการพัฒนาวิธีการตรวจสอบชิ้นงานที่รวดเร็วและแม่นยำจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น เพื่อให้พนักงานสามารถทำงานได้สะดวกและรวดเร็วขึ้น

การใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่เช่น การตรวจสอบด้วยภาพ เป็นวิธีการที่สะดวกและรวดเร็ว เนื่องจากเทคโนโลยีทางด้านกล้องถ่ายภาพดิจิทัล และคอมพิวเตอร์ ได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว จึงส่งผลให้ราคาของกล้องและคอมพิวเตอร์ถูกลง ความสามารถเพิ่มขึ้น และการประมวลผลรวดเร็วขึ้น การตรวจสอบด้วยภาพดีกว่าการตรวจสอบแบบปกติด้วยมือเนื่องจากสามารถตรวจสอบด้วยอัตราเร็วและปริมาณการผลิตที่สูงได้ซึ่งจะทำให้ได้ค่าการตรวจสอบที่เที่ยงตรง การตรวจสอบด้วยภาพจะสามารถรายงานชิ้นงานที่ผิดพลาด และยังสามารถแสดงเหตุผลของข้อผิดพลาด การตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพมีการประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ [1]–[5] เช่น

- การอ่านโค้ด (Code reading)
- การอ่านแถบพิมพ์ (Print verification)
- การนำทางด้วยหุ่นยนต์ (Robotic guidance)
- การตรวจสอบมิติ (Dimension gauging)
- การตรวจสอบตำหนิ (Flaw detection)

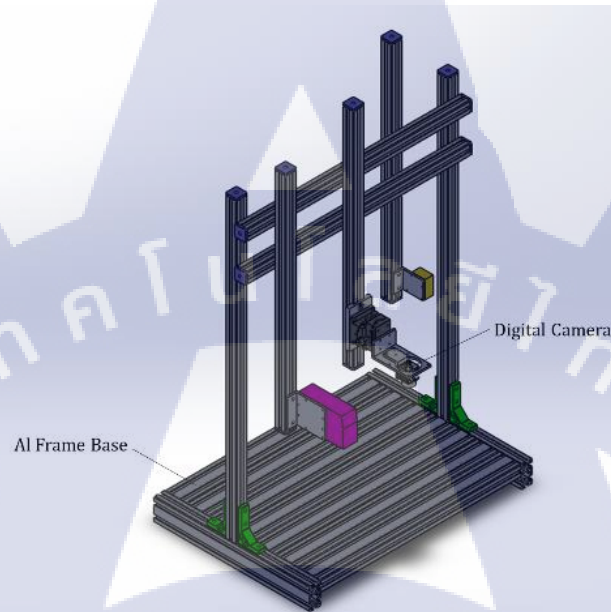
งานประยุกต์ด้านภาพได้มีการใช้งานเกี่ยวกับการช่วยนำทางหรือค้นหาตำแหน่งและการตรวจสอบชิ้นงาน สำหรับงานประยุกต์ทางการตรวจสอบคุณภาพ ระบบการตรวจสอบด้วยภาพเพื่อตรวจสอบชิ้นงานหรือชิ้นส่วนประกอบว่าเป็นชิ้นงานดีหรือเสีย ข้อมูลการตรวจสอบจะถูกส่งต่อไปยังอุปกรณ์ควบคุมเพื่อตัดสินใจว่าจะยอมรับหรือไม่ยอมรับชิ้นงาน การใช้ระบบตรวจสอบด้วยภาพได้มีการประยุกต์ใช้เพื่อตรวจสอบตำแหน่งการจัดวางของ

ชิ้นส่วนหล่อซึ่งเป็นประกอบของดรัมเบรค [3] ชิ้นงานนี้จะถูกส่งมาตามสายพานลำเลียงมาจนถึงสถานีที่มีหุ่นยนต์ที่จับชิ้นงานหล่อนี้ไปทำการผลิตที่เครื่องกลึง ชิ้นงานที่มามีตำแหน่งแตกต่างกัน ระบบตรวจสอบด้วยภาพจะทำการประมวลผลและส่งข้อมูลไปยังหุ่นยนต์ จะทำให้หุ่นยนต์สามารถจับชิ้นงานเข้าเครื่องกลึงได้ตามตำแหน่งที่กำหนด นอกจากนี้เทคโนโลยีเกี่ยวกับการตรวจสอบด้วยการถ่ายภาพได้มีการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์เพื่อตรวจสอบขนาดของชิ้นงานตามข้อกำหนดที่จะใช้เพื่อประกอบชิ้นส่วน [4] และใช้ช่วยแนะนำหุ่นยนต์เกี่ยวกับข้อมูลทางกายภาพและตำแหน่งของชิ้นงานที่ใช้ในการประกอบชิ้นส่วน ตัวอย่างเช่น การใช้ระบบถ่ายภาพเพื่อช่วยการติดตั้งกระจกหน้ารถด้วยหุ่นยนต์ ข้อมูลตำแหน่งของกระจกและตำแหน่งที่จะติดตั้งจะถูกประมวลผลจากภาพถ่ายเพื่อให้หุ่นยนต์สามารถหยิบกระจกไปติดตั้งได้อย่างถูกต้อง

การพัฒนาระบบตรวจวัดด้วยกล้องนอกจากอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายภาพแล้วยังจำเป็นต้องมีโปรแกรมสำหรับตรวจจับภาพ ประมวลผลภาพและวิเคราะห์ข้อมูล โปรแกรมที่ใช้ในการพัฒนาระบบตรวจสอบด้วยภาพมีด้วยกันหลายชนิดเช่น OpenCV, MATLAB, LabVIEW, C++, Python เป็นต้น ซึ่งแต่ละโปรแกรมจะมีวิธีการพัฒนาโปรแกรมแตกต่างกันไป โปรแกรม LabVIEW เป็นโปรแกรมที่มีการเขียนโปรแกรมแบบกราฟฟิกซึ่งจะแตกต่างจากโปรแกรมอื่น ๆ และเป็นที่ยอมรับเนื่องจากมีฟังก์ชันและเครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลภาพที่หลากหลาย Huang and Shi [6] ได้มีการประยุกต์ใช้โปรแกรม LabVIEW ในการวัดขนาดรูในของแบริ่ง โดยภาพที่ตรวจวัดได้จะใช้เครื่องมือที่มีอยู่ในโปรแกรมทำการเปลี่ยนภาพเป็นโทนสีเทาและกรองสัญญาณรบกวนออกจากภาพ ฟังก์ชันที่เกี่ยวข้องกับการหาตำแหน่งและการวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูในของแบริ่งจะถูกนำมาพัฒนาเป็นโปรแกรมสำหรับตรวจวัดขนาดของแบริ่งได้ การประยุกต์ใช้โปรแกรม LabVIEW และโมดูล Vision Assistant 2012 โดย Wang และคณะ [7] เพื่อพัฒนาวิธีการวัดขนาดของชิ้นงานซึ่งโปรแกรมสามารถกำหนดและเลือกเครื่องมือเพื่อกำหนดบริเวณที่ต้องการวัดขนาดของชิ้นงานได้สะดวกและทำให้ลดเวลาในการพัฒนาโปรแกรมให้สั้นลง นอกจากนี้โปรแกรม LabVIEW ยังได้มีการประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบสิ่งตกค้างที่อยู่ในขวดโดย Roy และคณะ [8] กล้องจะถ่ายภาพสีชนิด RGB และแยกเอาเฉพาะสีแดงออกมาหรืออาจจะใช้สีน้ำเงินหรือเขียวก็ได้แต่ต้องใช้สีเดียว ฟังก์ชันและเครื่องมือเกี่ยวกับภาพจะถูกนำมาพัฒนาโปรแกรมเพื่อตรวจสอบสิ่งตกค้างในขวดเช่น เครื่องมือกำหนดขอบเขตหรือบริเวณในภาพที่ต้องการตรวจสอบ การกำหนดค่าขอบเขตเพื่อใช้เลือก pixel ที่มีความเข้มสูง การวิเคราะห์หอนุภาคหรือการหาขอบเขตของวัตถุที่ตรวจพบ เป็นต้น ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถตรวจสอบสิ่งตกค้างในขวดได้

เทคโนโลยีการตรวจสอบด้วยภาพได้มีการประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตต่าง ๆ งานวิจัยที่เสนอขึ้นนี้เพื่อใช้เป็นพัฒนาชุดต้นแบบการตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพที่สามารถปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมสำหรับชิ้นงานต่าง ๆ ดังรูปที่ 2.1 และสามารถประยุกต์นำไปใช้ในสายการผลิตขึ้นรูปชิ้นงาน สายงานประกอบชิ้นงาน และสายการประกอบชิ้นงานอัตโนมัติ เป็นต้น ตัวอย่างชิ้นงานเช่น ชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อน ชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ ชิ้นงานหล่อ ชิ้นงานกระแทกขึ้นรูป เป็นต้น นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังจะพัฒนาโปรแกรมระยะเริ่มต้นเพื่อ

ใช้ตรวจสอบชิ้นงานจากการผลิตให้ตรงตามข้อกำหนดของการผลิต เนื่องจากวิธีการตรวจสอบและวิธีการประมวลผลของแต่ละประเภทปัญหาจะไม่เหมือนกันจึงจำเป็นต้องพัฒนาต่อในโอกาสต่อไป ตัวอย่างประเภทของการตรวจสอบเช่น การตรวจสอบตำแหน่งรูเจาะ การตรวจสอบตำแหน่งเครื่องหมายหรือสัญลักษณ์ การตรวจสอบตำแหน่งสกรู เป็นต้น รวมทั้งศึกษาผลกระทบที่มีต่อการตรวจสอบด้วยการถ่ายภาพ



รูปที่ 2.1 ระบบถ่ายภาพในการตรวจวัดชิ้นงาน

2.2 พื้นฐานเกี่ยวกับระบบภาพ

● ระบบถ่ายภาพในการตรวจวัดชิ้นงานทั่วไปมีรายละเอียดดังรูปที่ 2.1 ประกอบด้วยกล้องดิจิทัล เลนส์ อุปกรณ์จับยึดกล้อง ฐานยึดกล้อง ระบบแสงสว่าง เป็นต้น หัวข้อนี้จะอธิบายถึงเนื้อหาเกี่ยวกับภาพ การแสดงผล ระบบการตรวจสอบด้วยภาพ และส่วนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 ภาพดิจิทัล (Digital Images)

ภาพดิจิทัลประกอบด้วยข้อมูลเกี่ยวกับสมบัติของภาพ ชนิดของภาพ ขนาดของภาพ เป็นต้น ภาพดิจิทัลเป็นฟังก์ชันของค่าความเข้มแสงที่แสดงผลเป็นเมตริก 2D ซึ่งสามารถแสดงในรูปฟังก์ชัน $f(x,y)$ โดยที่ f เป็นค่าความเข้มแสงที่จุด x,y ใด ๆ และ x,y เป็นตำแหน่งของจุดของภาพที่แทนด้วย pixel. การประมวลด้วยภาพเชิงดิจิทัล (Digital Image Processing) ความเข้มแสงของแต่ละตำแหน่งของ pixel

จะแสดงผลเป็นระดับความเข้มของสเกล Gray หรือ สเกล Color โดยภาพดิจิทัลจะมีสมบัติสำคัญ คือ ค่าความละเอียด (Resolution), Pixel Dimension, Bit Depth และการแสดงสี

- ความละเอียด (Resolution) เป็นความสามารถในการปรับระยะการแสดงผลความละเอียดของภาพดิจิทัล ซึ่งนิยามกำหนดเป็น dot per inch (dpi) หรือ pixels per inch (ppi)
- ขนาด pixel (Pixel Dimension) ของภาพดิจิทัลจะแสดงถึงจำนวน pixels ในแกนตั้งและแกนนอน เช่น ภาพดิจิทัลภาพหนึ่งมีค่าความละเอียดเท่ากับ $m \times n$ pixels เป็นต้น
- การแสดงระดับสีของแต่ละ pixel กระทำดังนี้ ระดับความเข้มแสงของแต่ละ pixel สามารถคำนวณได้จากค่า Bit Depth (n) ที่มีค่าความสัมพันธ์ในรูป 2^n เช่น ถ้า Bit Depth, n เท่ากับ 8 หมายความว่า ความเข้มแสงของแต่ละ pixel จะมีค่าระหว่าง 0 ถึง 255 เป็นต้น ภาพ Grayscale เป็นการแสดงผลภาพที่มีค่า bit depth อยู่ในช่วงระหว่าง 2- 8 bits หรือมากกว่านั้น ส่วนภาพสี (Color) โดยทั่วไปจะมีค่า bit depth อยู่ในช่วง 8 – 24 bit หรือมากกว่า ภาพสี 24 bit หมายถึง การแสดงผลภาพจะถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน และแต่ละสีจะมี Bit Depth เท่ากับ 8 bits สีทั้งหมดจะถูกรวมกันเพื่อแสดงผลเป็นสีอื่นๆ

2.2.2 ชนิดของภาพ

ภาพดิจิทัลมีอยู่ 3 ชนิดคือ ภาพแบบ Grayscale, Color และ Complex ซึ่งภาพแต่ละชนิดจะใช้พื้นที่เก็บข้อมูลไม่เท่ากันโดยภาพแบบ Complex จะใช้พื้นที่จัดเก็บมากที่สุด ภาพมีหลายชนิด แต่ละชนิดจะไม่สามารถนำมาประมวลผลร่วมกันต้องทำการแปลงให้เป็นชนิดเดียวกันก่อน ชนิดของภาพสรุปได้ดังนี้

- 8-bit (Unsigned) Integer Grayscale (1 byte or 8-bit)
- 16-bit (Unsigned) Integer Grayscale (2 byte or 16-bit)
- 16-bit (Signed) Integer Grayscale (2 byte or 16-bit)
- 32-bit Floating Point Grayscale (4 byte or 32-bit)
- 32-bit RGB Color (4 byte or 32-bit)
- 64-bit RGB Color (8 byte or 64-bit)
- HSL Color (4 byte or 32-bit)
- Complex (8 byte or 64-bit)

2.2.3 ชนิดไฟล์ของภาพ

ภาพสามารถเก็บบันทึกเป็นข้อมูลดิจิทัลในรูปของไฟล์ โดยในไฟล์จะมีข้อมูลส่วนประกอบที่สำคัญคือ ข้อมูลเกี่ยวกับความละเอียดในแนวตั้งและนอนของภาพ ขนาดของ pixel และข้อมูลอื่น ๆ เป็นต้น ชนิดของไฟล์ที่นิยมใช้ประกอบด้วย

- Bitmap (BMP)
- Tagged image file format (TIFF)
- Portable network graphics (PNG)
- Joint Photographic Experts Group format (JPEG)
- Joint Photographic Experts Group 2000 format (JPEG2000)
- Audio Video Interleave (AVI)
- National Instruments internal image file format (AIPD)

ภาพที่ต้องการบันทึกเป็นไฟล์สามารถเก็บบันทึกได้หลายแบบทั้งภาพ Grayscale ภาพสี และภาพ Complex [9] ที่มีระดับความละเอียดของสีแตกต่างกันตั้งแต่ 8-bit ถึง 64-bit เช่น ภาพ 8-bit Unsigned Grayscale สามารถจัดเก็บเป็นไฟล์ได้หลายรูปแบบเช่น BMP, TIFF, PNG, JPG, JPEG2000, AVI, และ AIPD ภาพแต่ละชนิดสามารถจัดเก็บเป็นไฟล์ที่มีนามสกุลแตกต่างกันดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ชนิดของภาพที่สามารถบันทึกเป็นไฟล์ได้ [6]

	BMP	TIFF	PNG	JPEG	JPEG 2000	AVI	AIPD
8-bit Unsigned Grayscale	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
16-bit Unsigned Grayscale		✓	✓		✓		✓
16-bit Signed Grayscale		✓	✓		✓		✓
32-bit Floating-Point Grayscale							✓
32-bit RGB Color	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
64-bit RGB Color		✓	✓		✓		✓
32-bit HSL Color							✓
Complex							✓

2.2.4 กล้องดิจิทัล (Digital Camera)

กล้องดิจิทัลใช้ในการถ่ายภาพของวัตถุและตำแหน่งของวัตถุในงานประยุกต์ต่าง ๆ เช่น สายการผลิตแบบอัตโนมัติ การตรวจสอบคุณภาพ และกระบวนการผลิตต่าง ๆ เป็นต้น กล้องดิจิทัลเป็นอุปกรณ์ที่ต้องใช้ร่วมกับเลนส์ และอุปกรณ์เกี่ยวกับระบบแสง กล้องดิจิทัลปัจจุบันมีเซนเซอร์ทั้งชนิด CCD (Charged Coupling Devices) และ CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) ซึ่งทั้งสองชนิดจะสามารถใช้ได้ในงานประยุกต์ต่าง ๆ ได้ไม่แตกต่างกัน การต่อเชื่อมของกล้องดิจิทัลมีอยู่หลายแบบขึ้นอยู่กับงานประยุกต์ ความเร็วของการถ่ายภาพและประมวลผลเช่น USB 2.0, USB 3.0, FireWire.a, FireWire.b, Gigabit Ethernet, or Camera Link® นอกจากนี้อุปกรณ์เพิ่มเติมต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานเช่น สายเชื่อมต่อ อุปกรณ์จับยึด อุปกรณ์ต่อเชื่อม เป็นต้น

การเลือกใช้กล้องดิจิทัลขึ้นอยู่กับขอบเขตของภาพ (Field of View, FOV) และ ความละเอียด (Resolution) ขอบเขตของภาพเป็นขอบเขตที่กล้องดิจิทัลสามารถถ่ายภาพได้ครอบคลุมในทิศทาง X และ Y ส่วนความละเอียดใช้การการคำนวณว่า 1 pixel เท่ากับความยาวกี่มิลลิเมตร ความละเอียดของแต่ละทิศทางคำนวณได้ดังนี้

$$Resolution = \frac{FOV (mm)}{\text{no. of pixels}} \quad [2.1]$$

ตัวอย่าง ถ้า FOV เท่ากับ 30 mm ในทิศทาง Y เมื่อใช้กล้องขนาด 310,000 pixel (Y = 480°)

$$Resolution - Y = \frac{30}{480} = 0.0625 \text{ mm}$$

โดยทั่วไปขนาดที่เล็กที่สุดของชิ้นงานที่ตรวจวัดได้จากภาพต้องคำนึงถึงเมื่อใช้ในงานประยุกต์เพื่อตรวจวัดจุดที่ผิดปกติและการวัดขนาดของชิ้นงาน ขนาดที่เล็กที่สุดของชิ้นงานที่ตรวจวัดได้เท่ากับ 4-pixel ที่ต่อเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (4-pixel square) และพิสัยความเผื่อทางมิติ (Dimensional tolerance) มีค่าเท่ากับ ± 5 pixels ถ้าใช้กล้องดิจิทัล 310,000 pixels จะได้ว่า

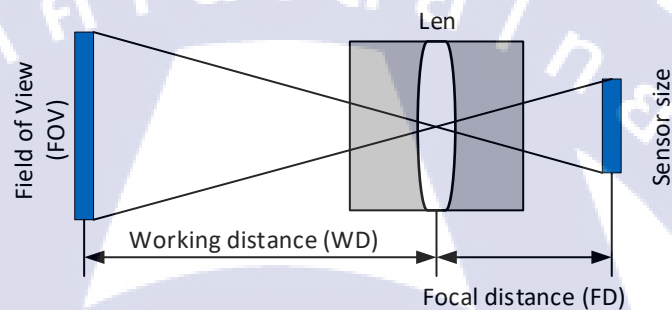
$$\text{ขนาดที่เล็กที่ตรวจวัดได้เท่ากับ} = 0.063 \times 4 = 0.25 \text{ mm square}$$

การเลือกใช้กล้องดิจิทัลยังมีสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงคือ การใช้กล้องดิจิทัลสีหรือกล้องโมโนโครม (สีเดียว) ขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้เพื่อตรวจจับสิ่งผิดปกติ ถ้าสิ่งตรวจวัดเปลี่ยนแปลงตามความเข้มของสี (Hue) ควรเลือกใช้กล้องดิจิทัลสี แต่ถ้าสิ่งที่ตรวจวัดเปลี่ยนแปลงตามความสว่าง (Brightness) ให้เลือกใช้กล้องโมโนโครม เป็นต้น

2.2.5 เลนส์ (Lens)

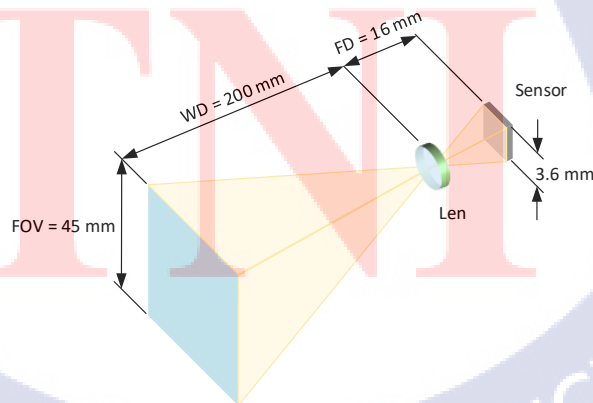
เลนส์เป็นอุปกรณ์เกี่ยวกับแสงที่ใช้ในการรวมหรือกระจายแสง เลนส์ประกอบด้วยชิ้นส่วนเดียวหรือหลายชิ้นส่วนซึ่งขึ้นอยู่กับงานประยุกต์ที่ใช้ เลนส์ที่ใช้ร่วมกับกล้องดิจิทัลจะใช้ในการโฟกัสภาพของวัตถุไปบนเซนเซอร์ของกล้อง เลนส์มีส่วนช่วยเรื่องการผิดพลาดจากการเคลื่อนไหวของภาพ การผิดพลาดของสัดส่วนของภาพ การขยายภาพ ขอบเขตของภาพ ความยาวโฟกัส (Focal distance, FD) เป็นต้น เลนส์ที่นิยมใช้ในงานตรวจวัดด้วยภาพจะมีความยาวโฟกัสดังนี้ 8, 16, 25 mm. ขอบเขตของภาพ รูปที่ 2.2 สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$\frac{\text{Working distance (WD)}}{\text{Field of View (FOV)}} = \frac{\text{Focal distance (FD)}}{\text{Sensor size}} \quad [2.2]$$



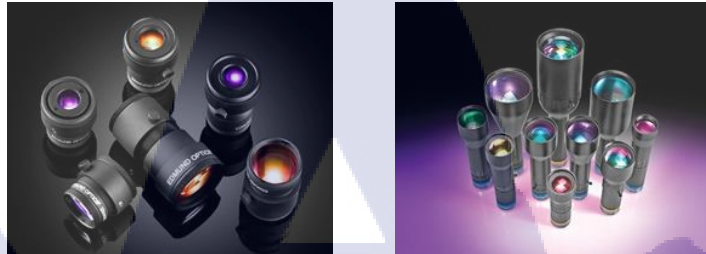
รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Field of View , Working Distance, Focal distance, Sensor Size.

ตัวอย่าง ถ้าระยะโฟกัสเท่ากับ 16 mm และขนาดของเซนเซอร์เท่ากับ 3.6 mm ดังรูปที่ 2.3 Working distance ควรมีค่าเท่ากับ 200 mm เพื่อให้ขอบเขตของภาพ เท่ากับ 45 mm เป็นต้น



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างระบบถ่ายภาพ

เลนส์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมแสดงดังรูปที่ 2.4 (ก) เลนส์ที่มีความยาวโฟกัสคงที่ และ รูปที่ 2.4 (ข) เลนส์ขยายที่ใช้ขยายจุดใด ๆ ให้เห็นรายละเอียดได้ชัดเจนขึ้น ทั้งนี้การเลือกใช้เลนส์ขึ้นอยู่กับขนาดชิ้นงาน และงานประยุกต์ที่เกี่ยวข้อง



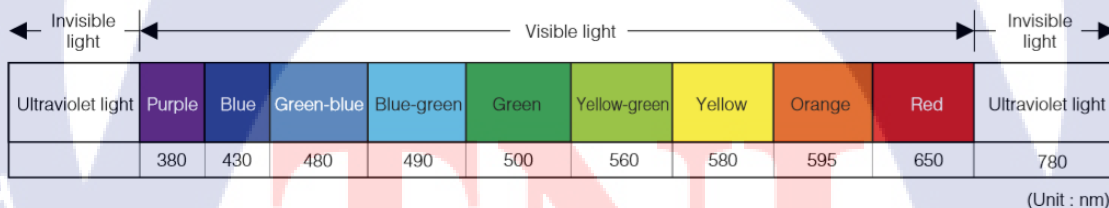
(ก) เลนส์ทั่วไป

(ข) เลนส์ขยาย

รูปที่ 2.4 เลนส์สำหรับกล้องดิจิทัล [10]

2.2.6 ระบบแสงสว่าง

ระบบแสงสว่างมีผลกับระบบตรวจวัดด้วยภาพและขึ้นอยู่กับงานประยุกต์ การเลือกใช้ระบบแสงต้องคำนึงถึงชนิดของระบบแสง ลักษณะการกระจายแสง และสีที่เหมาะสม พฤติกรรมของแสงที่ตกกระทบวัตถุจะสะท้อนผิววัตถุในลักษณะต่าง ๆ เช่น แสงสะท้อนตามมุมของแสงที่ตกกระทบ แสงสะท้อนหลายทิศทาง และแสงที่ให้หลังวัตถุที่ตรวจวัด เป็นต้น สีของแสงที่ใช้จะมีความยาวคลื่นต่าง ๆ ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นที่ตาสามารถมองเห็นเช่น แสงสีแดงมีความยาวคลื่น 650 nm (ความยาวคลื่นมาก) เป็นแสงที่ส่งถ่ายได้ง่าย และแสงสีน้ำเงินมีความยาวคลื่น 430 nm (ความยาวคลื่นต่ำ) จะกระจายแสงได้ดี



รูปที่ 2.5 ความยาวคลื่นของแสงสีต่าง ๆ

2.2.7 การวิเคราะห์ภาพ

การวิเคราะห์ภาพในระบบตรวจวัดด้วยการถ่ายภาพสามารถประยุกต์ใช้ได้หลากหลายขึ้นอยู่กับลักษณะการวัดเช่น การตรวจจับชิ้นงานว่ามีการเจาะรูหรือไม่ การนับจำนวนชิ้นงาน การตรวจรอยขีดข่วนบนพื้นผิวชิ้นงาน การวัดขนาดของชิ้นงาน การตรวจสอบสีของชิ้นงาน เป็นต้น การวิเคราะห์ภาพแต่ละ

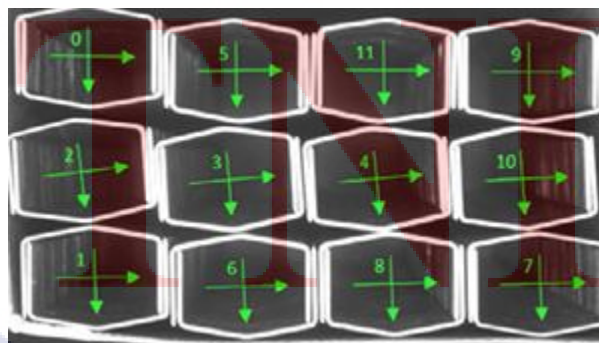
ลักษณะที่กล่าวข้างต้นจะมีเทคนิคการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะการตรวจวัด การวิเคราะห์ภาพขาวดำก็จะมีเทคนิคการวิเคราะห์ที่แตกต่างจากภาพสีซึ่งจะมีองค์ประกอบสีที่แตกต่างและจำนวนข้อมูลที่มากกว่า เทคนิคการประมวลผลภาพก็จะซับซ้อนมากกว่าภาพขาวดำ เป็นต้น เทคนิคการวิเคราะห์ภาพมีรายละเอียดพอสังเขปดังนี้

เทคนิคการวิเคราะห์ภาพว่ามี/ไม่มี (Presence/Absent Tool) เป็นเทคนิคการตรวจสอบว่าวัตถุที่ต้องการตรวจสอบมีหรือไม่มีอยู่ในตำแหน่งที่กำหนดหรือไม่ ซึ่งนิยมตรวจวัดด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ภาพต่างๆ เช่น ความสว่าง (Brightness) ความคมชัด (Contrast) รูปแบบ (Pattern) การนับจำนวน pixel (Pixel count) การหาขอบเขตและวงกลม (Edge and circle) เป็นต้น ตัวอย่างการตรวจสอบที่ใช้เทคนิควิเคราะห์นี้แสดงรูปที่ 2.6



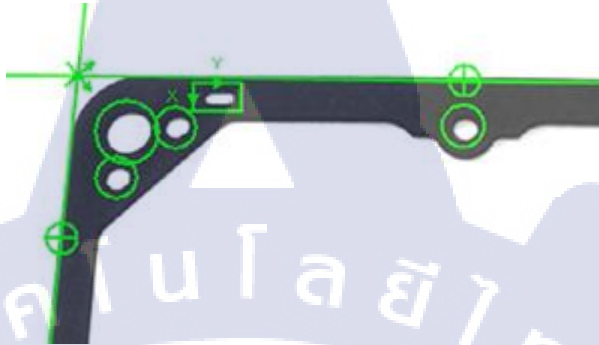
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างเทคนิคการวิเคราะห์ภาพว่ามี/ไม่มี [11]

เทคนิคการนับจำนวน (Counting Tools) เป็นเทคนิคการนับจำนวนชิ้นงานที่ปรากฏบนสายพานการผลิตหรือในกล่องบรรจุผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างเทคนิคการวิเคราะห์ภาพด้วยการนับจำนวนชิ้นงานนี้แสดงดังรูปที่ 2.7



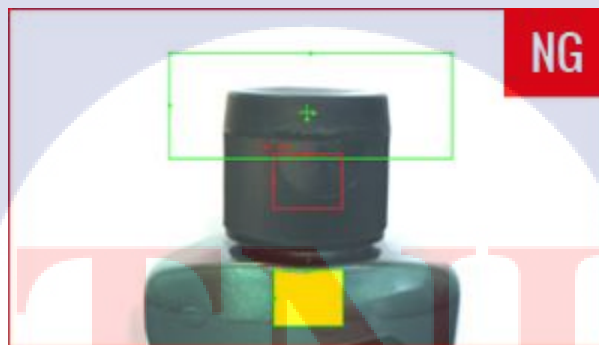
รูปที่ 2.7 ตัวอย่างเทคนิคการวิเคราะห์ภาพด้วยการนับจำนวน [11]

เทคนิคการหาตำแหน่ง (Location Tools) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการหาตำแหน่ง/ตำแหน่งติดตั้งของชิ้นงานด้วยเทคนิคการหาขอบเขตและรูปแบบทำให้สามารถหาพิกัดตำแหน่ง (x,y) บนชิ้นงาน การกำหนดทิศทาง (Orientation) และการปรับสเกล ตัวอย่างเทคนิคการวิเคราะห์ภาพด้วยการหาตำแหน่งแสดงดังรูปที่ 2.8 เทคนิคการหาตำแหน่งนี้จะต้องมีการกำหนดตำแหน่งอ้างอิง (0,0) และ แกนอ้างอิงจึงจะทำให้สามารถหาพิกัดตำแหน่งที่ต้องการหาได้



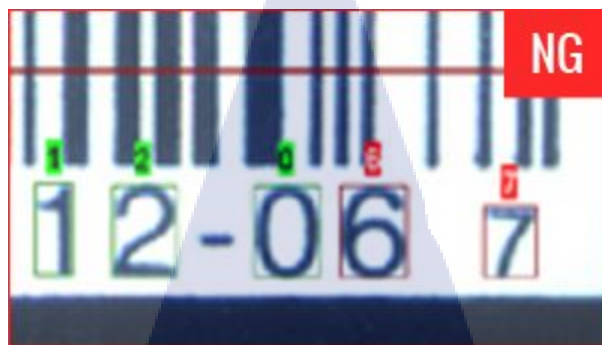
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างเทคนิคการวิเคราะห์ภาพด้วยการหาตำแหน่ง [11]

เทคนิคเกี่ยวกับสี (Color Tools) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์ความเหมือนของสี (Color match identification) และ การแบ่งกลุ่มของชิ้นงานสี (Sorting of colored part identification) ตัวอย่างเทคนิคการวิเคราะห์ภาพด้วยการวิเคราะห์สีแสดงดังรูปที่ 2.9 ซึ่งจะตรวจสอบสีตามตำแหน่งที่กำหนด



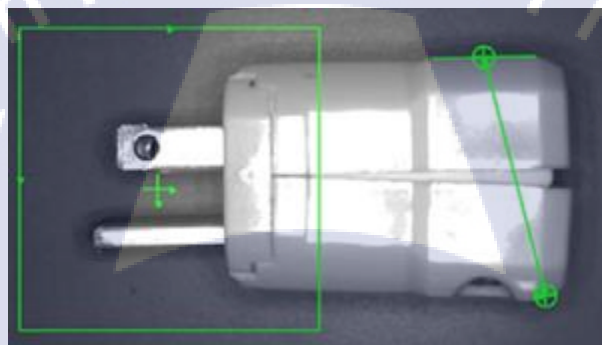
รูปที่ 2.9 ตัวอย่างเทคนิคการวิเคราะห์ภาพด้วยการวิเคราะห์สี [12]

การตรวจสอบสัญลักษณ์ (Identification Tools) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการอ่านและยืนยันความถูกต้องแบบทันทีของสัญลักษณ์แบบ 1D และ 2D เพื่อยืนยันความถูกต้องของตำแหน่งและทิศทางของฉลากสินค้า ตัวอย่างเทคนิคการวิเคราะห์ภาพด้วยการตรวจสอบสัญลักษณ์แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างเทคนิคการวิเคราะห์ภาพด้วยการตรวจสอบสัญลักษณ์ [12]

เทคนิคการวัด (Measurement Tools) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการยืนยันชิ้นงานว่ามีมิติตามตำแหน่งที่กำหนดถูกต้องตามเงื่อนไขที่กำหนด โดยทั่วไปจะเป็นการวัดระยะทาง มุม เส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลม เป็นต้น ตัวอย่างเทคนิคการวิเคราะห์ภาพด้วยการวัดบนภาพแสดงดังรูปที่ 2.11



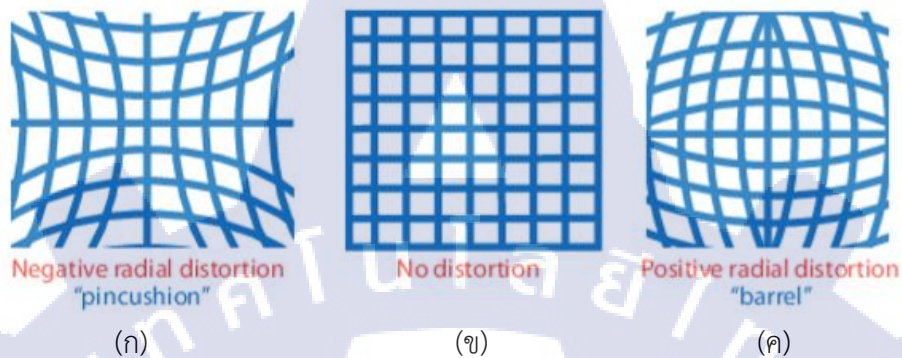
รูปที่ 2.11 ตัวอย่างเทคนิคการวิเคราะห์ภาพด้วยการวัดบนภาพ [12]

2.3 การสอบเทียบกล้อง (Camera Calibration)

การสอบเทียบกล้องเป็นการประเมินค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับเลนส์และเซนเซอร์ภาพซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้จะใช้ในการแก้ความผิดพลาดเกี่ยวกับการเพี้ยนของเลนส์ (Len distortion) ที่ทำให้เกิดการโค้งงอของภาพ การวัดขนาดของวัตถุด้วยหน่วยวัดจริง หรือการหาตำแหน่งของวัตถุในภาพ การเกิดการเพี้ยนต่าง ๆ เกิดขึ้นเมื่อกำลังไม่ได้ตั้งฉากกับระนาบของภาพจะทำให้ภาพผิดปกตินี้เนื่องจากการเกิดความผิดพลาดเนื่องจากเลนส์และมุมมองของภาพ ภาพที่ถ่ายได้จากกล้องจะประกอบด้วย pixel หลาย ๆ จุดที่มีความเข้มแสงไม่เท่ากัน การสอบเทียบจะเป็นการหาพารามิเตอร์ของแต่ละ pixel ที่จะส่งผลต่อหน่วยวัดจริงและระบบพิกัด เช่น หน่วย มิลลิเมตร หรือ นิ้ว การสอบเทียบระบบถ่ายภาพที่เหมาะสมจะใช้แก้ไขและชดเชยภาพที่ผิดเพี้ยน การเพี้ยนของภาพมีอยู่ 2 ชนิดคือ การเพี้ยนของเลนส์ (Len distortion) และ การเพี้ยนของมุมมอง (Perspective distortion)

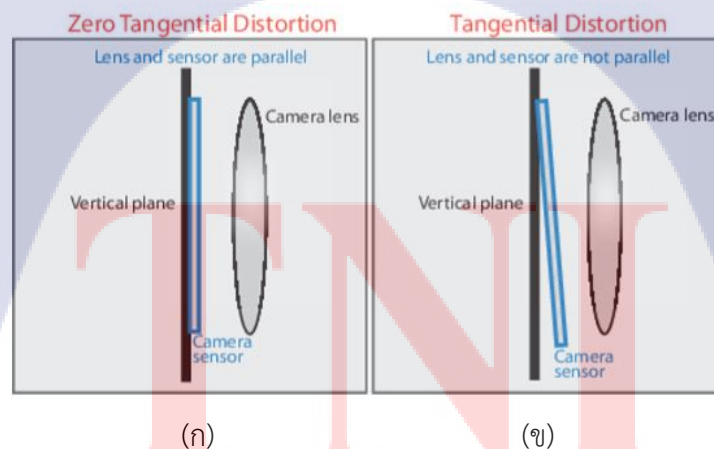
การเพี้ยนของเลนส์ (Len distortion) ทำให้เกิดการโค้งงอของภาพจากระบบกล้องและเลนส์ การเกิดการเพี้ยนของเลนส์มี 2 แบบคือ การเพี้ยนในแนวรัศมี (Radial distortion) เกิดขึ้นเมื่อลำแสงโค้งงอใกล้กับขอบของ

เลนส์มากกว่าบริเวณกลางเลนส์ เลนส์ขนาดเล็กจะทำให้เกิดการเพี้ยนของภาพมากกว่าเลนส์ขนาดใหญ่ ลักษณะการเกิดการเพี้ยนของภาพที่เกิดการเพี้ยนแบบแนวรัศมีแบบลบ (แบบเว้า) ภาพที่ปกติ และภาพที่มีการเพี้ยนแนวรัศมีแบบบวก (แบบนูน) แสดงรูปที่ 2.12 (ก) – รูปที่ 2.12 (ข) ตามลำดับ การเพี้ยนลักษณะนี้สามารถแก้ไขโดยการสอบเทียบกับชิ้นงานสอบเทียบมาตรฐานเพื่อหาพารามิเตอร์แก้ไขที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ 2.12 ลักษณะการเพี้ยนของเลนส์ในแนวรัศมีแบบต่าง ๆ [13]

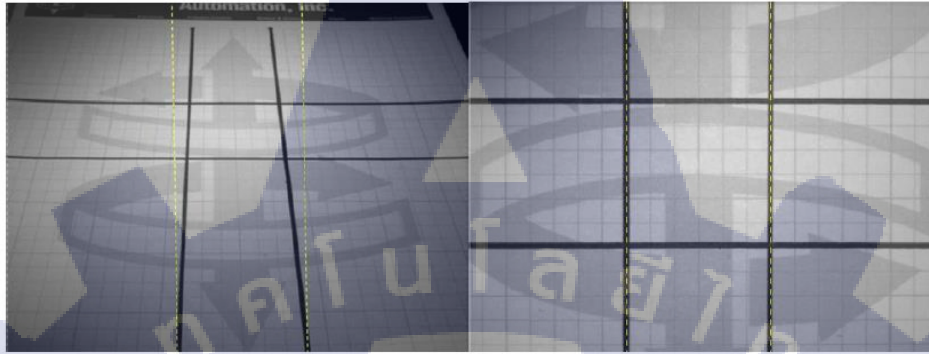
การเพี้ยนในแนวสัมผัส (Tangential distortion) เกิดขึ้นเมื่อเลนส์และระนาบของเซนเซอร์ไม่ขนานกัน ลักษณะของระบบกล้องที่ปกติแสดงดังรูปที่ 2.13 (ก) และลักษณะระบบกล้องที่เกิดการเพี้ยนในแนวสัมผัสแสดงดังรูปที่ 2.13 (ข) ซึ่งสามารถแก้ไขโดยการสอบเทียบเพื่อหาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ 2.13 ระบบกล้องที่ไม่มีและมีการเพี้ยนในแนว [13]

การเพี้ยนของมุมมอง (Perspective distortion) เกิดขึ้นเมื่อระบบกล้องไม่ตั้งฉากกับระนาบของภาพเส้นขนาน 2 คู่ที่แสดงดังรูปที่ 2.14 (ก) จะลู่เข้าหากันเมื่ออยู่ห่างจากระบบกล้องซึ่งเป็นการผิดเพี้ยนที่เกิดจากมุมมอง

ของกล้องไม่ทำมุมฉากกับวัตถุที่ตรวจวัด ส่วนรูปทางด้านขวา (รูปที่ 2.14 (ข)) เป็นภาพมุมมองเมื่อกล้องตั้งฉากกับระนาบของภาพ ซึ่งพบว่าเส้นของแต่ละแกนจะขนานกันซึ่งระบบกล้องและวัตถุที่ตรวจวัดจะตั้งฉากกัน การเกิด การเพี้ยนนี้สามารถแก้ไขได้ด้วยการทำการสอบเทียบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของ pixel เทียบกับชิ้นงานสอบเทียบ มาตรฐาน



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.14 ตัวอย่างการเพี้ยนของมุมมองของภาพ [14]

2.4 โปรแกรม

โปรแกรมที่ใช้ร่วมกับระบบตรวจวัดด้วยภาพนั้นมีอยู่หลายรูปแบบทั้งแบบที่เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่พัฒนาโดยบริษัทที่ขายระบบวัดด้วยภาพซึ่งมีราคาสูง และแบบโปรแกรมที่สามารถพัฒนารูปแบบของการใช้งานได้เอง เช่น โปรแกรมที่มีลิขสิทธิ์เช่น LabVIEW และ MATLAB หรือ โปรแกรมที่ไม่มีลิขสิทธิ์ เช่น OpenCV (Open source computer vision), C, Python เป็นต้น โปรแกรมเหล่านี้สามารถพัฒนาให้เหมาะสมตามลักษณะงานที่ต้องการ แต่ผู้ที่พัฒนาจำเป็นต้องความรู้พื้นฐานของแต่ละโปรแกรมจึงจะสามารถเขียนโปรแกรมใช้งานได้ โปรแกรมแต่ละตัวจะมีไลบรารีที่มีฟังก์ชันสำหรับการวิเคราะห์และการสอบเทียบเกี่ยวกับระบบภาพจึงทำให้การใช้งานสะดวกมากยิ่งขึ้น งานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม LabVIEW ในการพัฒนาโปรแกรมใช้งานร่วมกับชุดต้นแบบการตรวจสอบด้วยภาพ โปรแกรมที่ใช้นี้เป็นที่นิยมใช้ทั้งในอุตสาหกรรม งานวิจัย การเรียนการสอน และโปรแกรมนี้ยังมีฟังก์ชันที่พัฒนาไว้สำหรับการพัฒนาโปรแกรมตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพ จึงทำให้การพัฒนาโปรแกรมสะดวกและปรับเปลี่ยนรูปแบบการวิเคราะห์ได้ง่ายขึ้น

2.5 สรุปแนวทางการวิจัย

ระบบถ่ายภาพจะมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ กล้อง เลนส์ และระบบแสงสว่าง ที่ใช้ในการตรวจจับชิ้นงานและการวัดขนาดชิ้นงาน การสอบเทียบระบบถ่ายภาพก็เป็นส่วนสำคัญในการตรวจวัดชิ้นงานทั้งนี้ขึ้นอยู่กับงานตรวจสอบที่จะประยุกต์ไปใช้ งานวิจัยนี้จะเป็นการพัฒนา ระบบตรวจวัดด้วยภาพเบื้องต้นที่จะออกแบบและสร้างชุดต้นแบบระบบตรวจวัดชิ้นงานด้วยภาพ และพัฒนาโปรแกรมตรวจวัดด้วยภาพอย่างง่ายเพื่อตรวจสอบชิ้นงานว่าตำแหน่งที่กำหนดได้ผ่านการผลิตหรือไม่ โดยชุดต้นแบบจะประกอบด้วยกล้อง เลนส์ ชุดจับยึดกล้อง และโปรแกรม LabVIEW ที่ใช้ในการพัฒนาชุดต้นแบบนี้

บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย

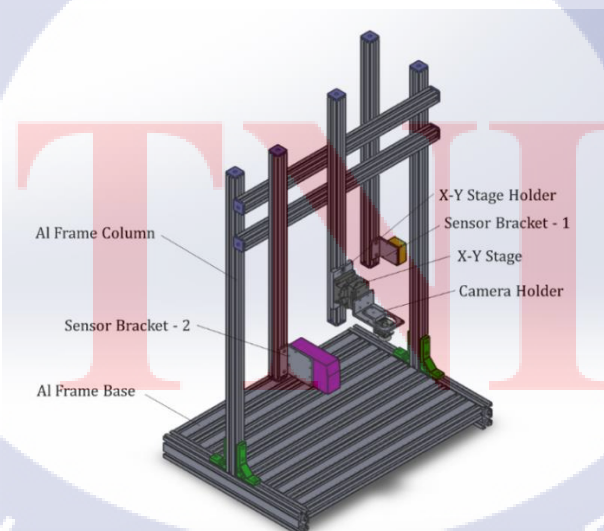
3.1 การดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยจะทำการออกแบบ พัฒนา และสร้างชุดต้นแบบการตรวจสอบด้วยภาพ รวมทั้งจัดหาอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องคือ กล้องและเลนส์ และพัฒนาโปรแกรม LabVIEW ที่ใช้งานร่วมกับชุดต้นแบบนี้ ชุดต้นแบบนี้จะออกแบบเพื่อใช้งานได้หลายรูปแบบทั้งการตรวจวัดสิ่งผิดปกติของชิ้นงานที่วัด และใช้งานสำหรับวัดขนาดของชิ้นงานด้วยซึ่งจะเป็นการในเฟสต่อไป ชุดต้นแบบนี้ยังสามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนและการทำโครงงานวิศวกรรมของนักศึกษาปริญญาตรี และงานวิจัยของนักศึกษาปริญญาโทและอาจารย์เกี่ยวกับเทคนิคการตรวจวัดด้วยภาพได้อีกด้วย ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

- ชุดต้นแบบการตรวจสอบด้วยภาพ
- โปรแกรม LabVIEW สำหรับตรวจวัดชิ้นงานด้วยภาพ

3.2 ชุดต้นแบบการตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพ

การออกแบบชุดต้นแบบนี้คำนึงถึงลักษณะการใช้งานโดยได้ออกแบบให้สามารถใช้งานได้ทั้งสำหรับการตรวจวัดสิ่งผิดปกติของชิ้นงาน และการตรวจวัดขนาดของชิ้นงาน รวมทั้งยังออกแบบให้สามารถใช้งานระบบตรวจวัดนี้ให้สามารถใช้ร่วมกับเซนเซอร์อื่น ๆ เช่น เซนเซอร์แบบเลเซอร์ที่ใช้สำหรับวัดมิติ เป็นต้น ชุดต้นแบบนี้ได้ออกแบบและภาพแบบ 3D มีลักษณะดังรูปที่ 3.1 ซึ่งประกอบด้วย ชุดฐานและชุดจับยึดกล้อง ชุดปรับโฟกัสและตำแหน่งของกล้อง กล้อง เลนส์ อุปกรณ์จับยึดเซนเซอร์แบบเลเซอร์ และคอมพิวเตอร์

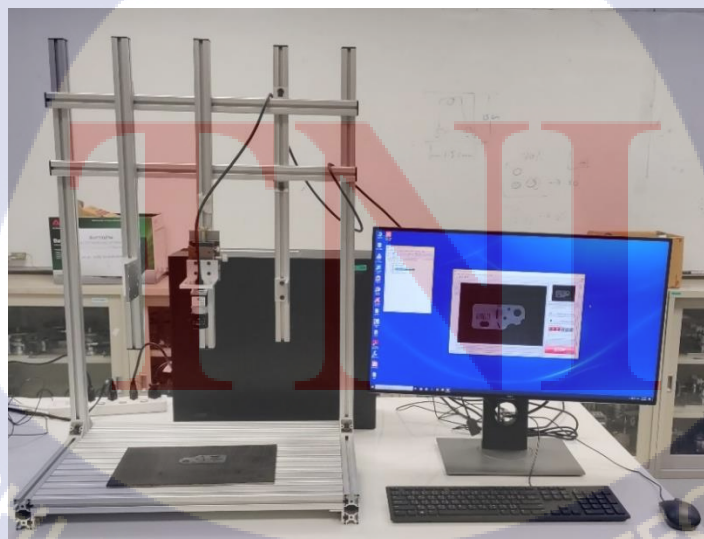


รูปที่ 3.1 แบบ 3D ของชุดตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพ

ชุดต้นแบบที่ได้พัฒนาและสร้างขึ้นตามแบบ 3D ที่ออกแบบแสดงดังรูปที่ 3.2 โครงสร้างของชุดฐานและชุดจับยึดกล้องจะใช้อลูมิเนียมโปรไฟล์ทำให้สามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบการจับยึดกล้องได้ง่าย ชุดจับยึดกล้อง และชุดจับยึดเซนเซอร์ทำจากอลูมิเนียมจึงทำให้ชิ้นงานไม่หนักเกินไป ส่วนโต๊ะสไลด์แกน X-Y ขนาดเล็กจะนำมาใช้ในการปรับโฟกัสและตำแหน่งศูนย์กลางของภาพ ภาพแบบรายละเอียดของชิ้นส่วนต่าง ๆ พร้อมขนาดแสดงในภาคผนวก ก ชุดต้นแบบนี้มีขนาดของฐานประมาณ 420 mm X 540 mm ใช้สำหรับวางชิ้นงานในการตรวจสอบ ส่วนของกล้องสามารถปรับให้ขึ้นลงในแนวตั้งไม่เกิน 70 mm อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 3.2 – 3.3 ส่วนรายละเอียดของข้อมูลเฉพาะแสดงในภาคผนวก ข และอุปกรณ์มีรายละเอียดดังนี้

- กล้องดิจิทัล 10 MP (3840 X 2748), Basler ace, acA3800-14uc จำนวน 1 ตัว
- เลนส์ 12 mm, Fixed focal length, Edmund Optics, C Mount จำนวน 1 ตัว
- เลนส์ 25 mm, Fixed focal length, Edmund Optics, C Mount จำนวน 1 ตัว
- เลนส์ขยาย SDS-M, Focal length: 90-95 mm, 30X-160X, C Mount จำนวน 1 ตัว
- คอมพิวเตอร์พร้อมโปรแกรม LabVIEW จำนวน 1 ชุด

ชุดต้นแบบที่ออกแบบไว้สามารถใช้งานตรวจวัดชิ้นงานขนาดเล็กและใหญ่ได้ ถ้าชิ้นงานมีขนาดเล็กมากสามารถใช้เลนส์ขยายช่วยในการถ่ายภาพบริเวณที่ต้องการตรวจวัดได้ ชุดต้นแบบนี้เมื่อนำไปตรวจวัดชิ้นงานขนาดใหญ่จะทำให้ค่าความละเอียดได้น้อย แต่ถ้าชิ้นงานขนาดเล็กจะทำให้วัดได้ค่าความละเอียดที่มากกว่า ซึ่งค่าความละเอียดขึ้นอยู่กับจำนวน pixels ต่อ หน่วยวัด เช่น 100 pixels ต่อ mm จะมีค่าความละเอียดแต่ละ pixel เท่ากับ 0.01 mm หรือ 10 μm เป็นต้น



รูปที่ 3.2 ชุดต้นแบบของเครื่องตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพและโปรแกรม



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

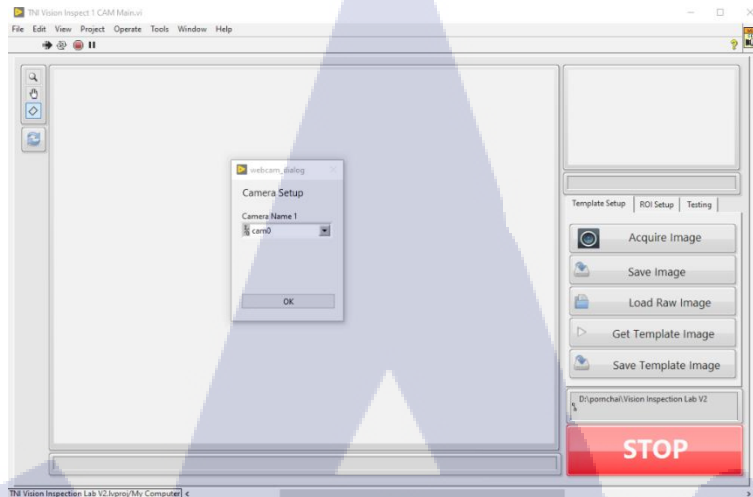
รูปที่ 3.3 กล้องและเลนส์ต่าง ๆ

3.3 โปรแกรมตรวจสอบชิ้นงาน

โปรแกรมตรวจสอบชิ้นงานที่พัฒนาขึ้นใช้ร่วมกับชุดต้นแบบการตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพจะใช้โปรแกรม LabVIEW โปรแกรมที่พัฒนาจะใช้ฟังก์ชันสำเร็จรูปเกี่ยวกับการประมวลผลภาพเพื่อพัฒนาโปรแกรมสำหรับตรวจวัดความผิดปกติบนชิ้นงานด้วยกล้องดิจิทัล ซึ่งชิ้นงานอาจมีขนาดเล็กหรือใหญ่ก็ได้ โปรแกรมนี้สามารถใช้ตรวจสอบความผิดปกติบนชิ้นงาน เช่น จำนวนรูเจาะไม่ครบ ตำแหน่งการทำสัญลักษณ์ไม่ครบ ตำแหน่งใส่น็อตไม่ครบ เป็นต้น โปรแกรมจะประกอบด้วย 3 ส่วนคือ โปรแกรมสำหรับถ่ายภาพและเตรียมภาพต้นแบบ (Template Images) โปรแกรมกำหนดตำแหน่งวัด และโปรแกรมตรวจวัดความผิดปกติของชิ้นงาน

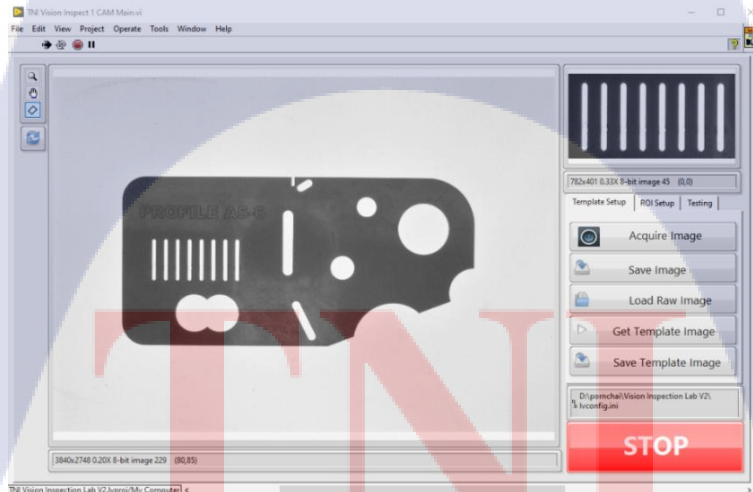
3.3.1 โปรแกรมสำหรับถ่ายภาพและเตรียมภาพต้นแบบ

การตรวจสอบชิ้นงานจำเป็นต้องมีการตรวจสอบว่าระบบกล้องสามารถถ่ายภาพเพื่อตรวจสอบชิ้นงานได้ครอบคลุมตำแหน่งที่กำหนดและต้องมีการจัดเตรียมภาพต้นแบบ (Template Image) ตามตำแหน่งที่ต้องการตรวจสอบก่อน โปรแกรมส่วนนี้ได้พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการเตรียมภาพของชิ้นงานตามตำแหน่งที่ต้องการตรวจสอบ โปรแกรมนี้ได้ออกแบบให้สามารถใช้ได้กับกล้องดิจิทัลที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ทางช่อง USB โดยจะมีหน้าต่างให้กำหนดกล้องที่ต้องการใช้รูปที่ 3.4 โปรแกรมส่วนแรกนี้มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3.4 หน้าต่างสำหรับกำหนดกล้องของโปรแกรมตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพ

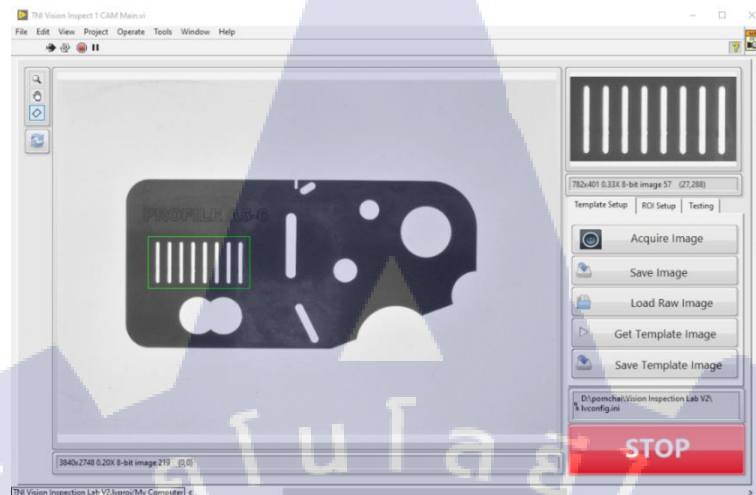
โปรแกรมสามารถถ่ายภาพชิ้นงานและบันทึกเป็นไฟล์ได้ กล้องจะแสดงภาพเต็มขอบเขตที่กล้องสามารถวัดได้ นอกจากนี้ยังสามารถขยายหรือย่อภาพได้โดยกดปุ่มรูปแว่นขยาย  หรือเลื่อนภาพโดยกดปุ่มรูปมือ  เมื่อต้องการบันทึกภาพให้กดปุ่ม 'Save Image' ดังรูปที่ 3.5 ภาพที่ต้องการบันทึกจะปรากฏในหน้าต่างเล็กด้านขวาบนพร้อมทั้งบันทึกเป็นไฟล์นามสกุล .jpg และหากต้องการให้แสดงภาพใหม่ให้กดปุ่ม 'Acquire Image' กล้องจะเริ่มทำงานใหม่



รูปที่ 3.5 โปรแกรมสำหรับถ่ายภาพและเตรียมภาพต้นแบบ (Template Images)

โปรแกรมสามารถใช้เตรียมภาพต้นแบบตามตำแหน่งที่ต้องการตรวจสอบและบันทึกเป็นไฟล์ ภาพต้นแบบจะทำโดยกำหนดกรอบสี่เหลี่ยม  ตามขอบเขตที่ต้องการตรวจสอบ (ROI, Region of Interest) บนภาพดังรูปที่ 3.6 เมื่อกดปุ่ม 'Get Template Image' ภาพต้นแบบจะปรากฏที่หน้าต่างภาพ และถ้ากด

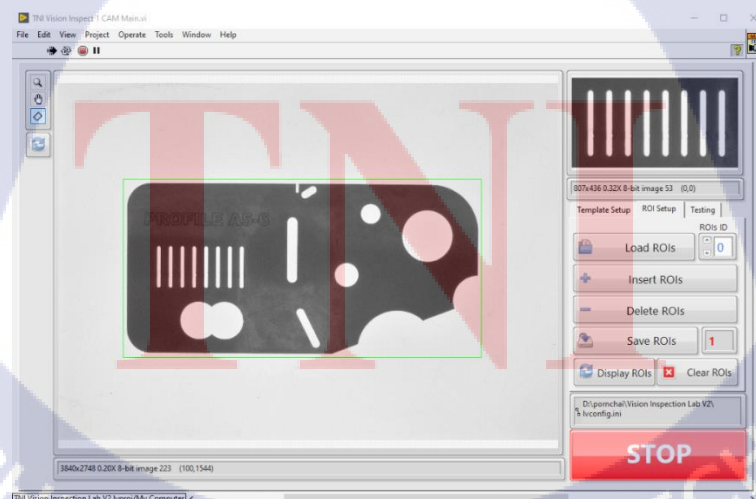
ปุ่ม Save Template Image ภาพต้นแบบจะถูกบันทึกเป็นไฟล์นามสกุล .png ภาพต้นแบบเหล่านี้จะใช้เปรียบเทียบความเหมือนหรือแตกต่างบริเวณตำแหน่งที่ต้องการตรวจวัด



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการเลือกขอบเขตของภาพต้นแบบ

3.3.2 โปรแกรมกำหนดตำแหน่งวัด

การกำหนดตำแหน่งที่ต้องการตรวจสอบบนภาพเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องจัดเตรียมก่อน ขอบเขตนี้จะช่วยในการกำหนดขอบเขตที่ต้องการตรวจสอบบนภาพให้เล็กลงจึงทำให้การประมวลผลใช้เวลาอันน้อยลง การกำหนดตำแหน่งที่ต้องการตรวจสอบบนภาพนั้นจะใช้กรอบสี่เหลี่ยม  ในการกำหนดขอบเขตซึ่งจะปรากฏเป็นกรอบสี่เหลี่ยมดังรูปที่ 3.7 เมื่อทำการตรวจสอบความผิดปกติภาพต้นแบบที่เตรียมไว้ในขั้นตอนก่อนหน้าจะใช้ในการตรวจสอบว่ามีความเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไรในขอบเขตที่กำหนดนี้ ขอบเขตที่กำหนดนี้จะมีขนาดใหญ่กว่าขอบเขตที่กำหนดในภาพต้นแบบ



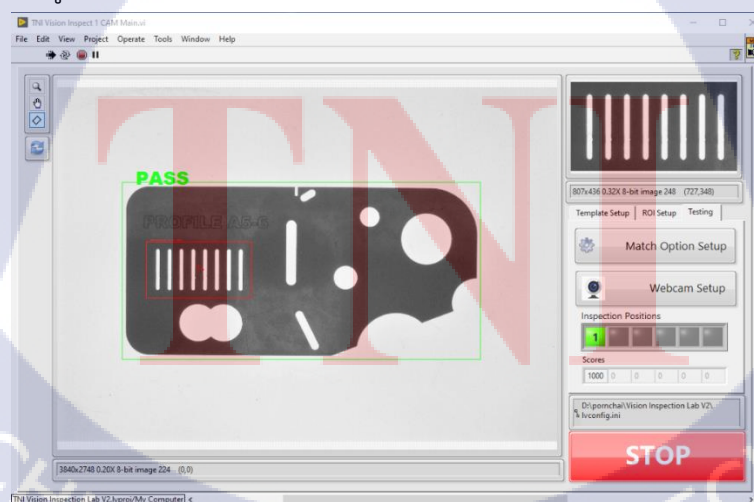
รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการกำหนดขอบเขตเพื่อตรวจสอบภาพต้นแบบ

3.3.3 โปรแกรมตรวจวัดความผิดปกติของชิ้นงาน

เมื่อส่วนของการเตรียมภาพต้นแบบและการกำหนดขอบเขตที่ตรวจสอบบนภาพได้ดำเนินการเรียบร้อยแล้ว ส่วนต่อไปจะเป็นการทดสอบการทำงานของโปรแกรม การทำงานของโปรแกรมจะนำเอาภาพต้นแบบไปเปรียบเทียบกับภาพในขอบเขตที่กำหนด ถ้าภาพต้นแบบกับภาพที่ตรวจสอบมีส่วนที่คล้ายกันจะทำให้โปรแกรมนี้อาจแสดงผลตำแหน่งที่ตรวจสอบพบเป็นไฟเขียว แต่ถ้าไม่เหมือนตำแหน่งที่ตรวจสอบจะแสดงผลเป็นสีแดง นอกจากนี้คะแนนของความเหมือนของตำแหน่งที่ตรวจสอบจะแสดงผลบนหน้าต่างของโปรแกรมด้วย ตัวอย่างผลการตรวจสอบชิ้นงานที่ไม่ผ่านการตรวจสอบเนื่องจากพบสิ่งผิดปกติแสดงดังรูปที่ 3.8 ไฟแสดงตำแหน่งจะปรากฏเป็นสีแดงและคะแนนการตรวจสอบจะเป็น 0 ส่วนตัวอย่างผลการตรวจสอบชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบแสดงดังรูปที่ 3.9 ไฟแสดงตำแหน่งจะปรากฏเป็นสีเขียวและคะแนนการตรวจสอบจะมีค่าเท่ากับ 1000



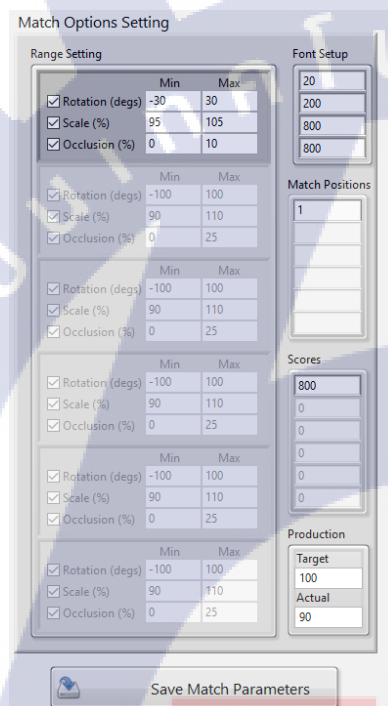
รูปที่ 3.8 ตัวอย่างการตรวจสอบชิ้นงานที่ไม่ผ่านการตรวจสอบ



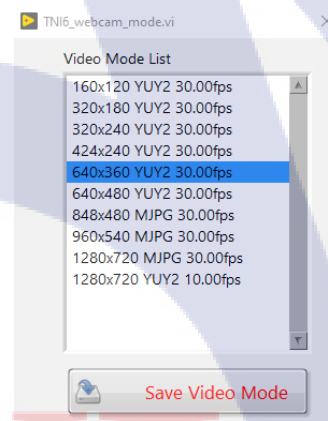
รูปที่ 3.9 ตัวอย่างการตรวจสอบชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบ

โปรแกรมส่วนนี้ยังสามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เกี่ยวกับการตรวจสอบความผิดปกติของ
 ชิ้นงานดังรูปที่ 3.10 (ก) โดยแต่ละตำแหน่งที่ต้องการตรวจสอบสามารถกำหนดได้ตามลำดับ ค่าพารามิเตอร์
 ที่สามารถกำหนดดังนี้

- การหมุน (Rotation) ของภาพในหน่วยองศา (deg)
- สเกลของภาพ (Scale) เป็นเปอร์เซ็นต์ (%) ภาพที่ต้องการตรวจสอบสามารถหดหรือขยายได้ไม่เกิน
 เปอร์เซนต์ที่กำหนด โดยภาพ 100% เป็นภาพปกติ
- การบดบังของภาพ (Occlusion) เป็นเปอร์เซ็นต์ (%) ของภาพที่ต้องการตรวจสอบเกิดการบด
 บังไปไม่เกินเปอร์เซนต์ที่กำหนด



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.10 หน้าต่างสำหรับการตั้งค่าพารามิเตอร์การวัดและความละเอียดของกล้องต่าง ๆ

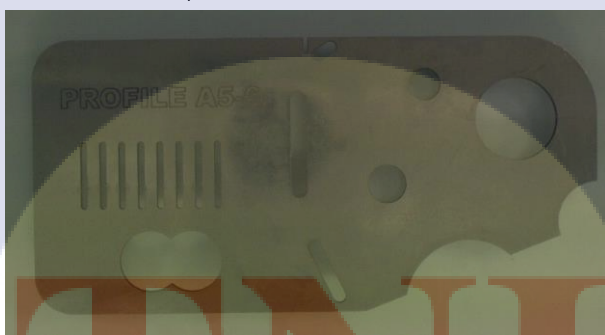
โปรแกรมส่วนนี้ออกแบบให้สามารถกำหนดคะแนน (Score) ของภาพที่ตรวจสอบโดยช่วงคะแนน
 จะมีค่าระหว่าง 0-1000 คะแนนดังรูปที่ 3.10 (ก) ซึ่งกำหนดไว้ที่ 800 คะแนน ถ้าค่าสูงหมายถึงภาพ
 ต้นแบบและภาพที่ตรวจสอบมีความเหมือนกันมาก ฟอนต์ของการแสดงผลสามารถกำหนดขนาดได้ตาม
 ความเหมาะสมขึ้นอยู่กับขนาดของชิ้นงานที่ตรวจสอบ ตำแหน่งที่ตรวจสอบสามารถกำหนดได้ซึ่งบางครั้ง
 อาจจะได้เรียงลำดับ เช่น ถ้ามีตำแหน่งตรวจสอบ 4 ตำแหน่งบนชิ้นงาน อาจเรียงจากซ้ายไปขวาของภาพ

เป็น 2,3,1,4 ตำแหน่งเหล่านี้ก็สามารถกำหนดลงในโปรแกรมได้ เมื่อโปรแกรมแสดงผลการตรวจสอบ ตำแหน่งที่เป็นตัวเลขจะปรากฏตามที่กำหนด ส่วนสุดท้ายเป็นการกำหนดจำนวนที่ต้องผลิต และจำนวนที่ผลิตได้ เมื่อทำการตรวจวัดค่าการผลิตจะถูกบันทึกถ้าชิ้นงานผ่านการตรวจสอบ ส่วนของการปรับตั้งค่าความละเอียดของภาพที่ใช้ของกล้องจะแสดงดังรูปที่ 3.10 (ข) ผู้ใช้งานสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสมที่ต้องการ แต่กล้องบางรุ่นอาจไม่สามารถปรับตั้งความละเอียดทั้งนี้ขึ้นอยู่กับยี่ห้อและรุ่นที่ใช้

3.4 การทดลอง

เครื่องตรวจสอบชิ้นงานที่พัฒนาขึ้นจะถูกใช้เพื่อทดสอบการทำงานโดยจะใช้ร่วมกับโปรแกรมตรวจสอบที่พัฒนาขึ้น โดยจะใช้ชิ้นงานทดสอบขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ เพื่อประเมินความถูกต้องของระบบตรวจวัดที่พัฒนาขึ้น โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

การทดสอบระบบวัดชิ้นงานด้วยการถ่ายภาพ โดยกำหนดให้ทดสอบชิ้นงาน 2 แบบ คือชิ้นงานขนาดเล็ก ขนาดกว้างและยาวเท่ากับ 43 mm X 89 mm ที่มีการเจาะรูและเจาะร่องดังรูปที่ 3.11 และชิ้นงานขนาดใหญ่ เป็นท่อไฮดรอลิกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.35 mm (1/4") ซึ่งเป็นท่อที่ถูกดัดงอตามรูปร่างที่กำหนด และมีความยาวประมาณ 340 mm ดังรูปที่ 3.12 ซึ่งเป็นการประยุกต์ไปใช้ในงานตรวจสอบการทำสัญลักษณ์บนท่อในโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง การทดลองที่กำหนดขึ้นเพื่อตรวจสอบความสามารถและความถูกต้องของการตรวจวัดชิ้นงานของระบบที่พัฒนาขึ้น เพื่อแก้ไขปรับปรุงโปรแกรมให้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 3.11 ชิ้นงานทดสอบแบบแผ่นเจาะรูและเจาะร่อง



รูปที่ 3.12 ชิ้นงานทดสอบแบบท่อไฮดรอลิกดัดตามรูปร่าง

ขั้นตอนการเตรียมการและการทดสอบสรุปได้พอสังเขปดังนี้

- การจัดตำแหน่งชิ้นงานและระบบการถ่ายภาพให้เหมาะสมต่อชิ้นงานที่จะตรวจสอบ โดยจัดตำแหน่งชิ้นงาน ขนาดของภาพ ระยะห่างระหว่างกล้องกับชิ้นงาน เป็นต้น
- การเตรียมภาพต้นแบบ ขั้นตอนนี้จะใช้โปรแกรมถ่ายภาพดังรูปที่ 3.5 – 3.6 เพื่อถ่ายภาพและเตรียมภาพต้นแบบตามตำแหน่งที่ต้องการตรวจสอบบนชิ้นงาน ซึ่งเป็นภาพที่จะใช้ในทดสอบและปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่จำเป็นเช่น การหมุนของภาพ ขนาดของภาพ การบิดเบี้ยวของภาพ และเกณฑ์คะแนนผลการตรวจสอบ เป็นต้น
- การกำหนดขอบเขตที่ต้องการตรวจสอบบนภาพด้วยเครื่องมือกำหนดขอบเขตภาพแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขั้นตอนนี้จะดำเนินการด้วยโปรแกรมกำหนดขอบเขตดังรูปที่ 3.7
- การทดสอบโปรแกรม นำชิ้นงานมาวางบนเครื่องตรวจสอบชิ้นงาน และทำการถ่ายภาพและประมวลผลเพื่อตรวจสอบว่าเครื่องสามารถทำนายชิ้นงานได้ถูกต้องหรือไม่ โดยใช้เกณฑ์คะแนนผลการตรวจสอบที่กำหนด ขั้นตอนนี้จะใช้โปรแกรมหดังรูปที่ 3.8 – 3.9
- ชิ้นงานทดสอบแต่ละชิ้นจะต้องจัดเตรียมภาพต้นแบบและขอบเขตของการตรวจสอบที่ตำแหน่งต่าง ๆ พร้อมทั้งกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการตรวจสอบ เช่น พารามิเตอร์ของการตรวจสอบ คะแนนการตรวจสอบ เป็นต้น

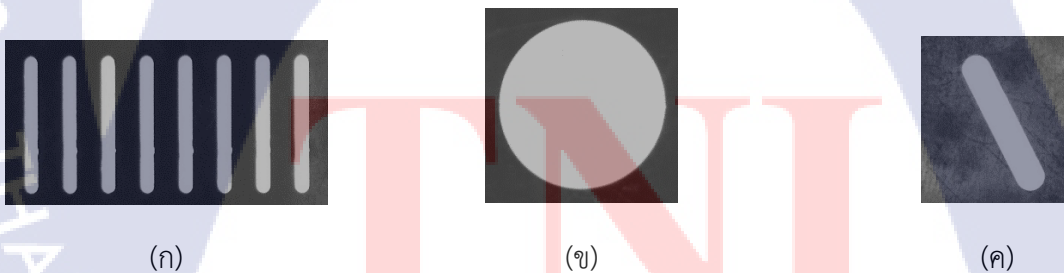
บทที่ 4 การตรวจวัดชิ้นงานด้วยภาพ

4.1 บทนำ

บทนี้จะนำเสนอการทดสอบการใช้งานของโปรแกรมการตรวจวัดชิ้นงานด้วยภาพโดยจะทำการตรวจสอบตำแหน่งที่ต้องการบนชิ้นงาน เช่น รูเจาะ ร่อง เป็นต้น ซึ่งเป็นการตรวจสอบว่าชิ้นงานได้มีการทำเจาะรูหรือเซาะร่องตามแบบที่กำหนดหรือไม่ การทดสอบนี้จะใช้ระบบตรวจวัดร่วมกับโปรแกรม LabVIEW ที่พัฒนาขึ้นดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 เพื่อตรวจสอบความสามารถของระบบตรวจวัดและโปรแกรมที่พัฒนา รวมถึงรวบรวมปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการใช้งาน

4.2 การตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพ

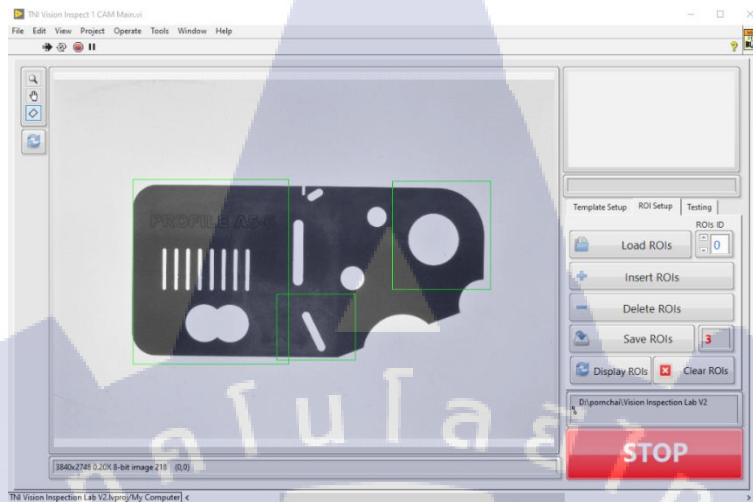
ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบระบบตรวจวัดชิ้นงานด้วยภาพได้ออกแบบและจัดทำขึ้นโดยมีลักษณะรูปที่ 3.11 ซึ่งจะมีรูเจาะวงกลม ร่องวงรี และส่วนโค้ง เป็นต้น ชิ้นงานทดสอบจะมีขนาดกว้าง x ยาว เท่ากับ 43 mm x 89 mm การทดสอบนี้จะกำหนดตำแหน่งที่ต้องการตรวจสอบจำนวน 3 ตำแหน่ง ขั้นตอนเริ่มต้นหลังจากจัดตำแหน่งของชิ้นงานและระบบกล้องเรียบร้อยแล้วจะเป็นการจัดเตรียมภาพต้นแบบตามตำแหน่งบนชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบ ภาพต้นแบบที่ต้องจัดเตรียมจะทำการถ่ายภาพโดยระบบกล้องและปรับระดับรูรับแสง (Aperture) ที่ f8 พร้อมทั้งกำหนดขอบเขตของภาพต้นแบบที่ต้องการโดยมีวิธีการตามหัวข้อ 3.3.1 โดยเลือกขอบเขตที่ต้องการเตรียมภาพต้นแบบแต่ละตำแหน่งดังรูปที่ 3.6 ตัวอย่างภาพต้นแบบทั้งสามตำแหน่งแสดงดังรูปที่ 4.1 (ก) – 4.1 (ค) ตามลำดับ



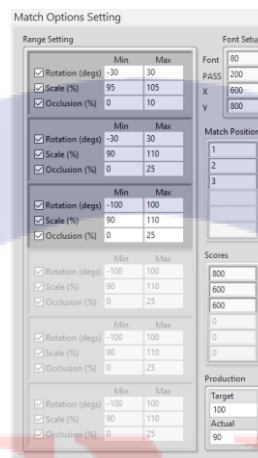
รูปที่ 4.1 ภาพต้นแบบของตำแหน่งที่ต้องการตรวจสอบโดยปรับรูรับแสง (Aperture) ที่ f8

การเตรียมขอบเขตที่ต้องการตรวจสอบของแต่ละตำแหน่งจะกำหนดโดยใช้วิธีตามหัวข้อ 3.3.2 โดยกำหนดขอบเขตให้ครอบคลุมแต่ละตำแหน่งที่ต้องการตรวจสอบและต้องใหญ่กว่าภาพต้นแบบ ขอบเขตที่กำหนดสำหรับชิ้นงานทดสอบทั้ง 3 ตำแหน่งแสดงดังรูปที่ 4.2 ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของการตรวจวัดแต่

ละตำแหน่งเช่น การหมุน การย่อขยาย และการบิดเบี้ยว พารามิเตอร์ของแต่ละตำแหน่งแสดงดังรูปที่ 4.3 พร้อมทั้งยังสามารถกำหนดขนาดฟอนต์แสดงผลและตำแหน่งที่ตรวจสอบได้ด้วย



รูปที่ 4.2 ขอบเขตที่ตรวจสอบบนชิ้นงานทดสอบทั้งสามตำแหน่ง



รูปที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์สำหรับตรวจสอบชิ้นงานทั้ง 3 ตำแหน่ง

การทดสอบการตรวจสอบชิ้นงานตามตำแหน่งที่กำหนดทั้ง 3 ตำแหน่งจะทำการทดสอบบนเครื่องที่พัฒนาขึ้นพร้อมกับโปรแกรม LabVIEW ที่พัฒนาขึ้นรูปที่ 4.2 โดยจะทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ C404 โดยมีเงื่อนไขการทดสอบดังนี้

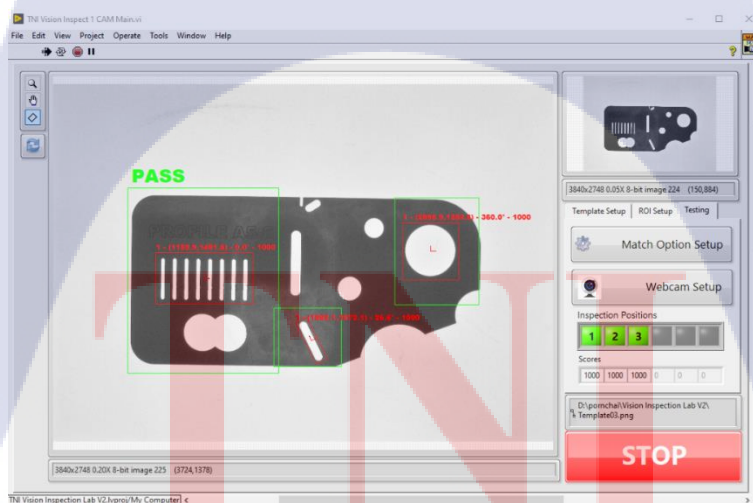
- เงื่อนไขปกติโดยการเปิดไฟแสงสว่างในห้องปกติ
- เงื่อนไขการใช้ระบบไฟแสงสว่างกับชิ้นงานทดสอบ

4.3 ผลการทดสอบ

การทดสอบการตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพที่เงื่อนไขการทดสอบต่าง ๆ ได้ลองทำการปรับพารามิเตอร์เกี่ยวกับแสงและการใช้อุปกรณ์เกี่ยวกับแสงเพื่อช่วยให้ได้ภาพที่ดีขึ้นโดยผลการทดสอบสามารถสรุปได้ดังนี้

เงื่อนไขปกติ เงื่อนไขนี้จะทำการทดสอบโดยการเปิดไฟแสงสว่างในห้องทดสอบ ผลการทดสอบพบว่า ไม่สามารถเตรียมภาพต้นแบบที่ตำแหน่งต่าง ๆ ได้ เนื่องจากชิ้นงานเป็นโลหะมันวาวและสะท้อนแสงจากระบบแสงสว่างได้จึงทำให้การเตรียมภาพต้นแบบไม่สามารถทำได้เนื่องจากพารามิเตอร์เกี่ยวกับภาพต้นแบบไม่สามารถบันทึกลงไปไฟล์ภาพต้นแบบได้ ทั้งนี้แสงสว่างที่กระทำต่อชิ้นงานมีผลกระทบกับเทคนิคการตรวจวัดด้วยภาพเป็นอย่างมากจึงจำเป็นต้องเลือกระบบแสงสว่างที่เหมาะสมกับประเภทการตรวจวัดชิ้นงานนั้น ๆ

เงื่อนไขการใช้อุปกรณ์เกี่ยวกับไฟแสงสว่างกับชิ้นงานทดสอบ การใช้ไฟแสงสว่างของห้องทดสอบเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอต่อวิธีการตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพ ดังนั้นอุปกรณ์เกี่ยวกับไฟแสงสว่างจึงถูกนำมาใช้เพื่อช่วยให้ภาพถ่ายของชิ้นงานมีความชัดเจนและแยกความแตกต่างของรูปร่างชิ้นงานได้ง่าย อุปกรณ์นี้จะให้แสงสว่างจากทางด้านล่างของชิ้นงาน จึงทำให้เห็นรูปร่างและรายละเอียดของชิ้นงานได้ชัดเจน การเตรียมภาพต้นแบบทั้ง 3 ตำแหน่งแสดงรูปที่ 4.1 ส่วนการเตรียมขอบเขตที่ตรวจสอบของแต่ละตำแหน่งสามารถจัดเตรียมได้ดังรูปที่ 4.2



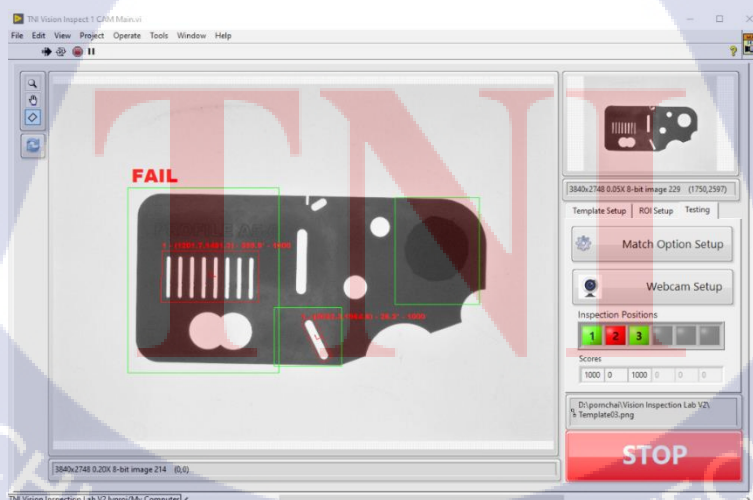
รูปที่ 4.4 ตัวอย่างผลการตรวจสอบชิ้นงานที่ผ่านเงื่อนไขทั้ง 3 ตำแหน่ง

ผลการทดสอบพบว่า การใช้อุปกรณ์ส่องสว่างโดยให้ทางด้านล่างของชิ้นงาน ทำให้ภาพที่ใช้ในการตรวจวัดสิ่งผิดปกติบนชิ้นงานสามารถตรวจสอบได้ง่ายขึ้น ตัวอย่างผลการทดสอบที่ไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้นบนชิ้นงานแสดงดังรูปที่ 4.4 ส่วนของโปรแกรมจะแสดงตำแหน่งที่ตรวจสอบถูกต้องเป็นไฟแสดงผลเป็นสีเขียว ส่วนของรูปภาพจะมีกรอบขอบเขตของภาพต้นแบบ (สีแดง) และกรอบขอบเขตที่ตรวจสอบ (สีเขียว) พร้อมผลว่าผ่าน (PASS) และผลการตรวจสอบจะแสดงผลเป็นคะแนนของแต่ละตำแหน่งดังรูป

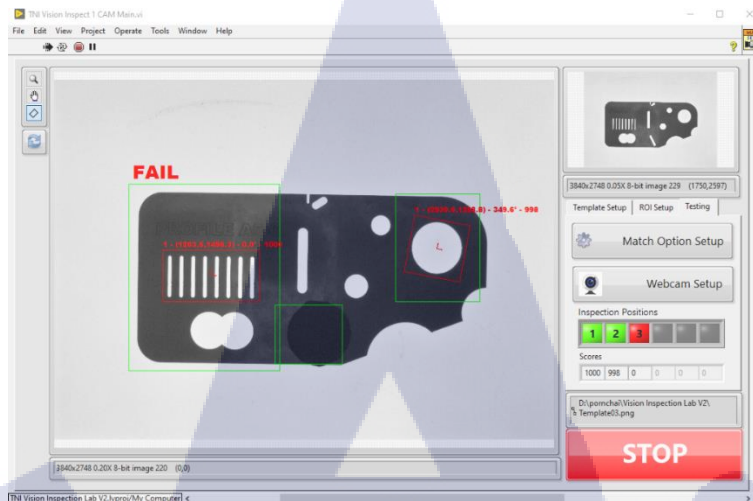
การจำลองการทดสอบโดยใช้เหรียญสีดำนำไปยังตำแหน่งที่ต้องการตรวจสอบที่ 1, 2 และ 3 ผลการทดสอบพบว่าโปรแกรมที่พัฒนาไว้สามารถตรวจพบความผิดปกติที่ตำแหน่งต่าง ๆ ได้และแสดงผลได้ถูกต้องตามการจำลองความผิดพลาดที่กำหนด ตัวอย่างผลการทดสอบที่ตำแหน่งที่ 1-3 แสดงดังรูปที่ 4.5 – 4.7 ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างการตรวจสอบชิ้นงานที่ผิดพลาดที่ตำแหน่งที่ 1

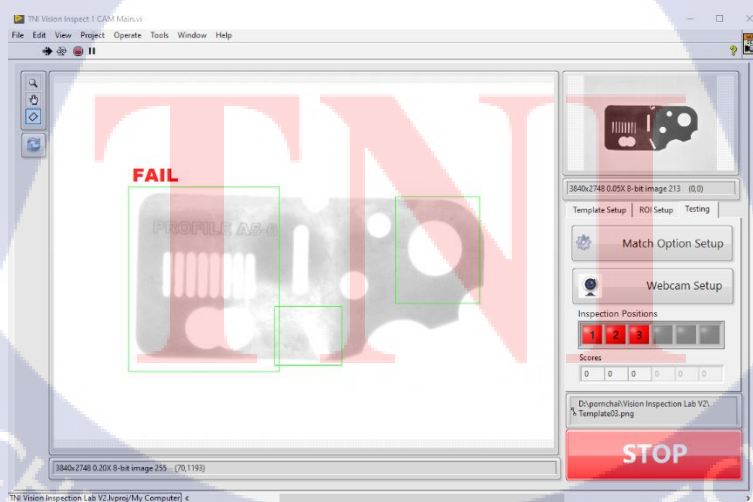


รูปที่ 4.6 ตัวอย่างการตรวจสอบชิ้นงานที่ผิดพลาดที่ตำแหน่งที่ 2

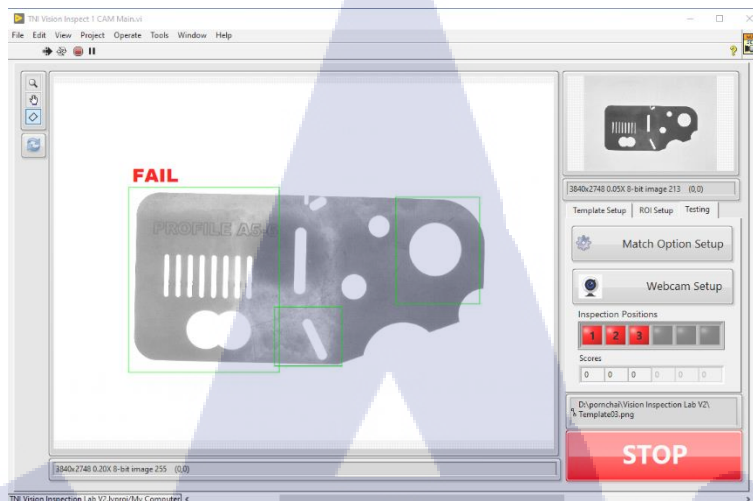


รูปที่ 4.7 ตัวอย่างการตรวจสอบชิ้นงานที่ผิดพลาดที่ตำแหน่งที่ 3

ผลการทดสอบเกี่ยวกับผลกระทบของแสงโดยการปรับรับแสงของเลนส์และกล้องที่ระดับต่าง ๆ ระหว่าง f1.8 – f16 พบว่า การปรับตั้งรับแสง f4 – f16 ซึ่งเป็นการปรับให้แสงของระบบถ่ายภาพมีระดับแสงเข้าปานกลาง (f4) ถึงระดับแสงเข้าน้อย (f16) จึงส่งผลให้ชิ้นงานมีสีเข้มขึ้น ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถตรวจสอบความผิดปกติบนชิ้นงานได้ แต่ถ้าเปิดให้รับแสงให้แสงเข้ามาเกินไป เช่น f1.8 – f2.8 จะทำให้ภาพมีความสว่างมากและส่งผลให้โปรแกรมไม่สามารถตรวจวัดชิ้นงานตามตำแหน่งที่กำหนดได้ ตัวอย่างการตรวจสอบชิ้นงานที่ปรับรับแสงระดับ f1.8 และ f2.8 แสดงรูปที่ 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ ผลการตรวจสอบได้คะแนนเป็น 0 คะแนน ปัจจัยของแสงที่กระทำต่อชิ้นงานมีผลต่อการตรวจสอบชิ้นงานอย่างยิ่ง ดังนั้นการประยุกต์ใช้งานระบบถ่ายภาพเพื่อตรวจสอบชิ้นงานจำเป็นต้องปรับระดับแสงให้เหมาะสมกับชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบ



รูปที่ 4.8 ตัวอย่างการตรวจสอบชิ้นงานที่ปรับรับแสงขนาด f1.8



รูปที่ 4.9 ตัวอย่างการตรวจสอบชิ้นงานที่ปรับรูรับแสงขนาด f2.8

4.4 สรุปผลการทดสอบ

การทดสอบการตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพโดยเพื่อตรวจสอบชิ้นงานว่าผิดปกติหรือถูกต้องตามข้อกำหนดต่าง ๆ ตามที่ต้องการ โปรแกรมสามารถเตรียมภาพต้นแบบที่ต้องการตรวจสอบ กำหนดตำแหน่งตรวจสอบ กำหนดพารามิเตอร์ที่ต้องใช้ และตรวจสอบชิ้นงานตามตำแหน่งที่กำหนดได้ ความสามารถของชุดที่พัฒนาที่ใช้ตรวจสอบชิ้นงานขึ้นอยู่กับสภาพของแสงและการเตรียมภาพต้นแบบรวมถึงการกำหนดขอบเขตที่เหมาะสมของการตรวจสอบซึ่งจะขึ้นอยู่กับรูปร่างลักษณะและความซับซ้อนของชิ้นงานด้วย

บทที่ 5 การตรวจวัดการทำสัญลักษณ์บนท่อไฮดรอลิก

5.1 บทนำ

บทนี้จะนำเสนอการประยุกต์ใช้เทคนิคการตรวจสอบด้วยภาพมาใช้ในการตรวจสอบการทำสัญลักษณ์บนท่อไฮดรอลิก ซึ่งจะทำการสัญลักษณ์รูปร่างและหัวลูกศรตามตำแหน่งที่กำหนดบนท่อ เพื่อให้ผู้ที่นำไปประกอบเข้ากับชิ้นส่วนอื่นจะได้ประกอบได้ถูกต้องตามทิศทางของหัวลูกศรและตำแหน่งยึดท่อรูปร่างที่กำหนด เนื้อหาส่วนนี้จะนำเสนอเกี่ยวกับที่มาของปัญหา การแก้ปัญหา การประยุกต์ใช้การตรวจสอบด้วยภาพ ผลการใช้งาน และปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น

5.2 การทำสัญลักษณ์บนท่อไฮดรอลิก

การลดต้นทุนในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมยานยนต์เป็นปัจจัยสำคัญต่อบริษัทและโรงงานต่าง ๆ การใช้เทคนิคเชิงบริหารต่าง ๆ เพื่อเพิ่มผลผลิตและลดของเสียจากกระบวนการผลิตสามารถทำได้ง่ายและสามารถช่วยในการแก้ปัญหาและปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ดีขึ้น การใช้เทคนิคเชิงบริหารสามารถช่วยในการลดของเสียเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้นเมื่อต้องการลดของเสียจากกระบวนการผลิตให้ดียิ่งขึ้นจำเป็นต้องยุ่งเกี่ยวกับการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยการใช้ระบบการตรวจสอบมาช่วยตรวจวัดจุดที่ต้องการตรวจสอบ เพื่อที่จะทราบข้อมูลจากกระบวนการผลิต ของเสียและปัญหาที่เกิดขึ้นได้ทันเวลา ตัวอย่างกรณีศึกษาในการนำระบบการตรวจสอบชิ้นงานเพื่อป้องกันความผิดพลาดมาประยุกต์ใช้กับกระบวนการทำสัญลักษณ์บนท่อไฮดรอลิก (Hose) ของบริษัทในอุตสาหกรรมยานยนต์ เช่น ท่อไฮดรอลิกในระบบเบรก ท่อไฮดรอลิกระบบบังคับเลี้ยว ท่อไฮดรอลิกในรถชุดเจาะ เป็นต้น การลดต้นทุนจึงเป็นปัจจัยสำคัญของบริษัทที่ปัจจุบันการแข่งขันในตลาดค่อนข้างรุนแรง การประยุกต์ใช้เทคนิคและเทคโนโลยีใหม่ ๆ เพื่อให้ต้นทุนการผลิตลดลง ของเสียลดลง ผลิตได้เร็วขึ้น และสามารถแข่งขันในตลาดได้จึงเป็นเป้าหมายที่บริษัทต้องการ

การทำสัญลักษณ์ (Marking Process) เป็นกระบวนการทำสัญลักษณ์รูปต่าง ๆ บนท่อไฮดรอลิก และเป็นขั้นตอนการผลิตสุดท้ายก่อนขั้นตอนบรรจุภัณฑ์ ขั้นตอนการดำเนินงานพนักงานจะใช้ด้ามตัวพิมพ์รูปต่าง ๆ เช่น หัวลูกศร วงแหวน หรือสัญลักษณ์อื่น ๆ เป็นต้น ทำการพิมพ์สัญลักษณ์ลงบนท่อตามตำแหน่งต่าง ๆ ที่กำหนดโดยใช้สีขาว สีเหลือง หรือสีอื่น ๆ ตามข้อกำหนดการผลิต ตัวอย่างการพิมพ์สัญลักษณ์บนท่อครบทุกตำแหน่งที่กำหนดแสดงดังรูปที่ 5.2 ปัญหาที่ตรวจพบในขั้นตอนการผลิตคือ พนักงานทำสัญลักษณ์ที่ท่อไม่ครบตามตำแหน่งที่กำหนด บางตำแหน่ง หรือ สัญลักษณ์บางตำแหน่งสีจางเกินไป เป็นต้น ตัวอย่างการพิมพ์สัญลักษณ์บนท่อไม่ครบตามตำแหน่งที่กำหนดแสดงดังรูปที่ 5.3 เมื่อผู้ตรวจสอบคุณภาพทำการสุ่มตรวจชิ้นงานในขั้นตอนสุดท้ายก่อนบรรจุภัณฑ์ พบว่าท่อทำสัญลักษณ์ไม่ครบ ท่อดังกล่าวจะต้องนำกลับมาทำสัญลักษณ์ใหม่อีกครั้งจึงทำให้เกิดการสูญเสีย เช่น การเสียค่าใช้จ่ายในการแก้ไขงาน การเสียเวลาในการแก้ไขงาน การสูญเสียเนื่องจากลูกค้าปฏิเสธที่จะรับงาน หากลูกค้าตรวจพบ เป็นต้น

กระบวนการทำสัญลักษณ์จะมีขั้นตอนดังนี้ นำท่อมาวางที่ JIG ตามรูปแบบที่กำหนดดังรูปที่ 5.1 JIG สำหรับวางท่อไฮดรอลิกสำหรับการทำสัญลักษณ์บนท่อ ทำสัญลักษณ์รูปวงแหวน หัวลูกศร หรือรูปอื่นๆ ลงบนท่อตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ ตรวจสอบชิ้นงาน ใส่หัวอุดท่อ และหุ้มปลายท่อด้วยถุงพลาสติกใส ปัญหาที่เกิดขึ้นมักจะเกิดที่ขั้นตอนการทำสัญลักษณ์เช่น ลืมทำสัญลักษณ์บนท่อบางตำแหน่ง สัญลักษณ์ไม่ชัด เป็นต้น ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นมาจากการที่พนักงานไม่ทำตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ บริษัทจึงต้องการแก้ปัญหาที่กระบวนการทำสัญลักษณ์นี้เพื่อป้องกันการมีของเสียเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต และป้องกันไม่ให้มีการส่งของเสียไปยังลูกค้า ดังนั้นกรณีศึกษาได้นำเสนอการแก้ปัญหาด้วยการประยุกต์เทคนิคการตรวจสอบชิ้นงานด้วยกล้อง และพัฒนาโปรแกรมตรวจสอบชิ้นงานด้วยโปรแกรม LabVIEW เพื่อใช้ตรวจสอบตำแหน่งที่ต้องทำสัญลักษณ์ตามที่กำหนด



รูปที่ 5.1 JIG สำหรับวางท่อไฮดรอลิกสำหรับการทำสัญลักษณ์บนท่อ



รูปที่ 5.2 ตัวอย่างท่อไฮดรอลิกและตำแหน่งที่ทำสัญลักษณ์ครบ



รูปที่ 5.3 ตัวอย่างท่อไฮดรอลิกและตำแหน่งที่ทำสัญลักษณ์ไม่ครบ

5.3 การตรวจสอบการทำสัญลักษณ์บนท่อ

เทคนิคการตรวจวัดการทำสัญลักษณ์สามารถประยุกต์ใช้เซนเซอร์เพื่อช่วยในการตรวจสอบเช่น การตรวจวัดด้วยเซนเซอร์วัดความเข้มสี และการตรวจวัดโดยการถ่ายภาพด้วยกล้องเว็บแคม เทคนิคการตรวจวัดการทำสัญลักษณ์ด้วยเซนเซอร์วัดความเข้มสีเพื่อตรวจวัดความเข้มสีที่ตำแหน่งทำสัญลักษณ์จะต้องใช้เซนเซอร์มาตรวจวัดตามตำแหน่งที่ต้องการตรวจสอบ ตัวอย่างเซนเซอร์สีแสดงดังรูปที่ 5.4 ถ้าสีเข้มแสดงว่าไม่ได้ทำสัญลักษณ์ แต่ถ้าความเข้มต่ำแสดงว่ามีการทำสัญลักษณ์บนท่อ วิธีการนี้จะต้องติดตั้งเซนเซอร์บน JIG ที่ใช้วางท่อดังรูปที่ 4 วิธีการนี้ต้องใช้เซนเซอร์ 1 ตัวต่อตำแหน่งวัด ราคาค่อนข้างสูง และการติดตั้งค่อนข้างยุ่งยาก

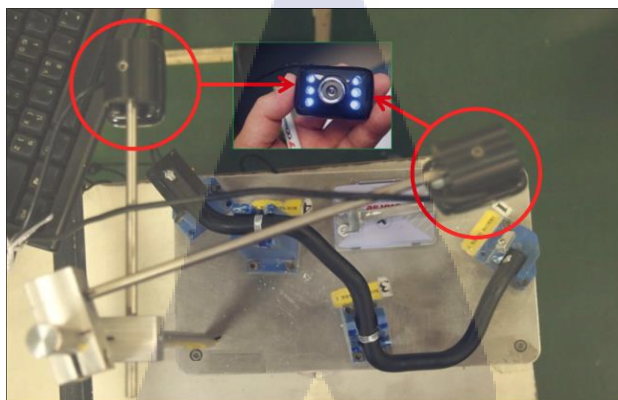


รูปที่ 5.4 ตัวอย่างเซนเซอร์ตรวจวัดความเข้มสี [15], [16]

เทคนิคการตรวจวัดการทำสัญลักษณ์บนท่อด้วยภาพ การตรวจวัดนี้จะใช้กล้องเว็บแคมที่มีจำหน่ายในท้องตลาดซึ่งเป็นกล้องราคาประหยัด ระบบตรวจวัดนี้จะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ กล้องเว็บแคม และ โปรแกรม LabVIEW เทคนิคนี้มีหลักการดังนี้ กล้องเว็บแคมจะใช้ถ่ายภาพตำแหน่งที่ต้องการตรวจวัดการทำสัญลักษณ์ซึ่งจะถูกติดตั้งไว้บน JIG สำหรับวางท่อพร้อมชุดยึดกล้องทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบของกล้องที่ใช้ กล้องเว็บแคมจะใช้ 2 ตัว กล้องแต่ละตัวจะใช้ตรวจสอบตำแหน่งทำสัญลักษณ์ได้ 2 ตำแหน่ง ตัวอย่างการใช้งานกล้องเว็บแคมเพื่อตรวจวัดชิ้นงานดังรูปที่ 5.5 กล้องเว็บแคมที่ใช้เป็นกล้องที่มีขายตามท้องตลาด ขึ้นอยู่กับรูปแบบของกล้องและจำนวน pixels ซึ่งเว็บแคมที่ใช้จะมีความละเอียดภาพประมาณ 0.3 Mpixels กล้องเว็บแคมที่ใช้และอุปกรณ์จับยึดกล้องที่ติดตั้งบน JIG สำหรับวางท่อแสดงดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.5 ตัวอย่างการใช้กล้องเว็บแคมเพื่อตรวจวัดชิ้นงาน



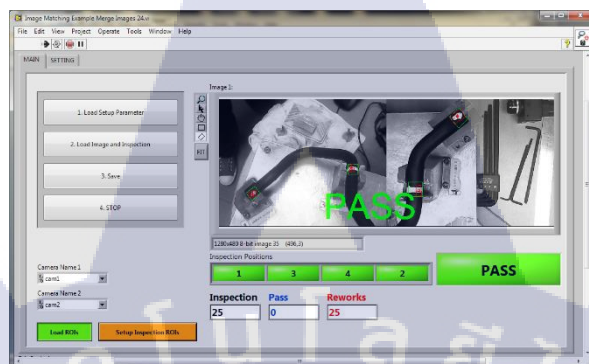
รูปที่ 5.6 กล้องเว็บแคมและชุดยึดกล้อง

โปรแกรม LabVIEW ที่พัฒนาขึ้นนี้จะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ โปรแกรมส่วนแรกเป็นโปรแกรมเตรียมภาพอ้างอิงตามตำแหน่งบนท่อที่ต้องการตรวจสอบ และกำหนดขอบเขตหรือบริเวณที่ต้องการตรวจสอบ โปรแกรมส่วนที่ 2 เป็นโปรแกรมตรวจสอบตำแหน่งที่ทำสัญลักษณ์ ภาพที่ถ่ายได้จากกล้องเว็บแคมจะถูกนำไปประมวลผลร่วมกับภาพอ้างอิงตามตำแหน่งต่างๆ โปรแกรมจะนำภาพที่ถ่ายมาและภาพอ้างอิงแต่ละตำแหน่งมาเปรียบเทียบกับตามขอบเขตที่กำหนด โดยโปรแกรมจะให้คะแนนความเหมือนของภาพที่ตำแหน่งตรวจสอบแต่ละตำแหน่งตั้งแต่ 0 – 1000 คะแนน [1]–[5] ถ้าหากผลการเปรียบเทียบได้ 1000 คะแนน แสดงว่า ภาพทั้งสองเหมือนกัน ถ้าหากภาพที่ต้องการตรวจสอบมีรูปร่างเพี้ยนไปเนื่องจากมุมมองของภาพไม่ได้ตั้งฉากกับระบบถ่ายภาพเช่น รูปบิดเบี้ยว หรือเอียงไป ผลการเปรียบเทียบจะมีคะแนนลดลงเช่น 500 หรือ 600 คะแนน เป็นต้น ดังนั้นการตรวจวัดตำแหน่งที่ต้องการจะต้องกำหนดคะแนนการเปรียบเทียบภาพที่แต่ละตำแหน่งที่ตรวจซึ่งคะแนนของแต่ละตำแหน่งอาจไม่เท่ากันก็ได้ คะแนนการเปรียบเทียบภาพสามารถกำหนดได้ ขึ้นอยู่กับภาพ รูปร่าง และรายละเอียดของสัญลักษณ์ที่ต้องการตรวจจับ เทคนิคการตรวจวัดชิ้นงานด้วยภาพมีข้อดีคือ กล้องเว็บแคมที่ใช้หาได้ง่าย มีให้เลือกหลายแบบ และราคาไม่แพง ส่วนค่าใช้จ่ายสำหรับการทำชุดจับยึดกล้องบน JIG ไม่สูงนัก รวมทั้งติดตั้งง่าย และการปรับเปลี่ยนตำแหน่งวัดทำได้ง่าย

5.4 วิธีการตรวจสอบการทำสัญลักษณ์บนท่อ

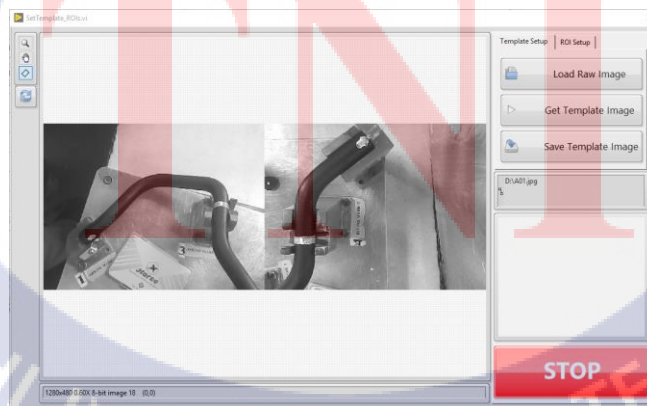
การประยุกต์ใช้การตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพเพื่อตรวจวัดท่อไฮดรอลิกของระบบบังคับลิ้นชักซึ่งจะมีการตรวจวัดพร้อมกัน 4 ตำแหน่งเป็นรูปสัญลักษณ์ต่าง ๆ เช่น รูปลูกศรที่ปลายท่อแต่ละด้าน และรูปวงแหวน 2 ตำแหน่งแสดงดังรูปที่ 5.7 วิธีการตรวจวัดนั้นท่อไฮดรอลิกจะถูกวางบน JIG ตามตำแหน่งที่กำหนด และชุดยึดกล้องที่จะใช้จะถูกติดตั้งอยู่บน JIG ดังรูปที่ 5.6 กล้องเว็บแคมที่จะใช้ซึ่งมีขายทั่วไปตามท้องตลาดมีหลายชนิดและ

หลายประเภท การทดสอบนี้จะใช้กล้องเว็บแคมที่มีความละเอียดภาพประมาณ 0.3 Mpixels ภาพที่แสดงผลจะมีขนาด 640 X 480 pixels ต่อกล้อง ภาพของแต่ละกล้องจะนำมารวมกันเป็นภาพที่มีขนาด 1280 X 480 pixels ภาพตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 5.7 การเลือกใช้กล้องเว็บแคมสามารถเลือกใช้รุ่นที่มีความละเอียดภาพกว่านี้ก็ได้แต่จะส่งผลให้ระยะเวลาการประมวลผลเพิ่มขึ้นตามความละเอียดของภาพ



รูปที่ 5.7 ตัวอย่างโปรแกรมตรวจวัดชิ้นงานแบบ 4 ตำแหน่ง

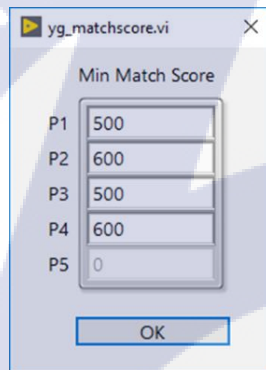
โปรแกรมการตรวจสอบการทำสัญลักษณ์บนท่อที่พัฒนาขึ้นรุ่นแรกสามารถวัดได้ 4 ตำแหน่งดังรูปที่ 5.7 ซึ่งปุ่มควบคุมและปุ่มเลือกค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จะอยู่บนหน้าต่างของโปรแกรมจึงทำให้พนักงานที่ใช้งานอาจปรับเปลี่ยนการตั้งค่าซึ่งอาจทำให้โปรแกรมทำงานผิดพลาดได้ ดังนั้นโปรแกรมรุ่นที่สองจึงได้พัฒนาและปรับเปลี่ยนวิธีการตั้งค่าเท่าที่จำเป็น ตัวอย่างโปรแกรมที่ปรับปรุงใหม่ในรุ่นที่สองจะมีหน้าต่างของโปรแกรมส่วนแรกการเตรียมภาพอ้างอิงและตำแหน่งที่ตรวจสอบดังรูปที่ 5.8 ส่วนของโปรแกรมตรวจสอบแสดงดังรูปที่ 5.9 ซึ่งสามารถตรวจสอบการทำสัญลักษณ์ได้ 5 ตำแหน่ง และโปรแกรมจะตรวจสอบแต่ละตำแหน่งเฉพาะบริเวณที่กำหนดไว้ในกรอบสี่เหลี่ยม โปรแกรมจะทำงานโดยใช้ค่าเริ่มต้นที่กำหนดดังรูปที่ 5.10 (ก) และ 5.10 (ข) ซึ่งประกอบด้วยคะแนนการเปรียบเทียบภาพที่แต่ละตำแหน่ง มีค่าเท่ากับ 0 – 1000 และค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของภาพเช่น การหมุนภาพ ขนาดของภาพ และการทับซ้อนกันของภาพ โปรแกรมจะทำการตรวจสอบก็ต่อเมื่อมีการกดปุ่ม ESC ที่คีย์บอร์ด หรือ ใช้เมาส์คลิกปุ่มกดที่พื้น



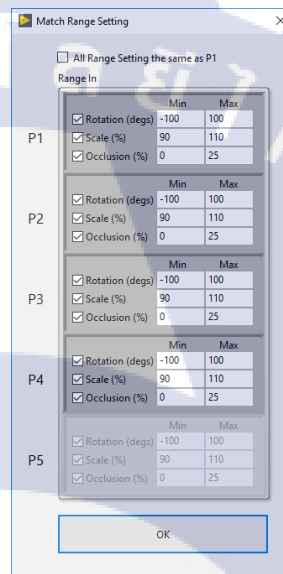
รูปที่ 5.8 ตัวอย่างโปรแกรมการเตรียมภาพต้นแบบสำหรับตรวจวัดชิ้นงานแบบ 5 ตำแหน่ง



รูปที่ 5.9 ตัวอย่างโปรแกรมตรวจวัดชิ้นงานแบบ 5 ตำแหน่งที่ชิ้นงานทำสัญลักษณ์ครบ



(a) คะแนนเปรียบเทียบ



(b) พารามิเตอร์ของภาพ

รูปที่ 5.10 หน้าต่างกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของโปรแกรมตรวจสอบชิ้นงานแบบ 5 ตำแหน่ง

เมื่อโปรแกรมทำการเปรียบเทียบภาพที่ตรวจวัดกับภาพอ้างอิงของแต่ละตำแหน่ง หากผลการเปรียบเทียบได้คะแนนมากกว่าหรือเท่ากับค่าที่กำหนดรูปที่ 5.11 ส่วนผลการเปรียบเทียบจะแสดงสัญลักษณ์และรายละเอียดเป็นตัวอักษรสีแดงพร้อมทั้งจะมีตัวอักษรคำว่า “PASS” ปรากฏขึ้น แต่ถ้าคะแนนเปรียบเทียบต่ำกว่าค่าที่กำหนดจะไม่ปรากฏผลการเปรียบเทียบเป็นสัญลักษณ์และตัวอักษรสีแดงและจะแสดงผลคำว่า “FAIL” และจะมีเสียงดังเตือนขึ้นด้วยดังรูปที่ 5.12 การประยุกต์ใช้วิธีการตรวจสอบนี้ในกระบวนการทำสัญลักษณ์จะทำให้พนักงานมีระบบตรวจวัดและระบบเตือน เมื่อความผิดพลาดเกิดขึ้นทำให้สามารถแก้ไขข้อบกพร่องได้ทันที



รูปที่ 5.11 ตัวอย่างโปรแกรมตรวจวัดชิ้นงานแบบ 5 ตำแหน่งที่ชิ้นงานทำสัญลักษณ์ครบ



รูปที่ 5.12 ตัวอย่างโปรแกรมตรวจวัดชิ้นงานแบบ 5 ตำแหน่งที่ชิ้นงานทำสัญลักษณ์ไม่ครบ

ข้อดีที่ได้จากการปรับปรุงกระบวนการทำสัญลักษณ์โดยใช้การตรวจวัดชิ้นงานด้วยภาพระหว่างช่วงที่ทดสอบระบบนี้ในกระบวนการผลิตสรุปได้ดังนี้

- ไม่ตรวจพบของเสียในกระบวนการผลิต (0 ppm)
- ไม่มีค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการแก้ไขงาน
- ไม่จำเป็นต้องสุ่มตรวจในกระบวนการผลิต
- ลดเวลาในการตรวจเช็คของพนักงานลง 2 วินาทีต่อชิ้น
- ลดกำลังคนที่ใช้สุ่มตรวจในกระบวนการผลิตได้ 0.5 คน

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้ยังไม่สามารถตรวจสอบทิศทางของสัญลักษณ์หัวลูกศรที่อยู่บริเวณปลายท่อทั้งสองด้านได้เนื่องจากภาพที่ใช้เป็นภาพอ้างอิงมีขนาดเล็กเกินไป และภาพหัวลูกศรอยู่ในลักษณะเอียงทำให้ภาพลูกศรไม่ชัดเจนดังตัวอย่างการตรวจวัดรูปที่ 5.11 ดังนั้นการตรวจสอบการทำสัญลักษณ์ยังจำเป็นต้องพัฒนาและปรับปรุงโปรแกรมให้สามารถตรวจสอบการกลับทิศทางของหัวลูกศร เพื่อให้โปรแกรมตรวจสอบมีความสามารถและความถูกต้องเพิ่มขึ้นด้วย

4.5 สรุปผลการทดสอบ

การปรับปรุงกระบวนการผลิตร่วมกับการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่เช่น การตรวจสอบชิ้นงานด้วยการถ่ายภาพ ทำให้ปัญหาเรื่องการทำสัญลักษณ์บนท่อจากกระบวนการผลิตสามารถแก้ไขได้อย่างมีระบบ การปรับปรุงกระบวนการทำสัญลักษณ์ด้วยการใช้เทคนิคการตรวจวัดโดยภาพถ่ายด้วยกล้องเว็บแคมโดยใช้ร่วมกับโปรแกรม LabVIEW สามารถใช้ตรวจสอบว่าสัญลักษณ์ต่างได้ถูกทำบนท่อตามตำแหน่งที่กำหนดหรือไม่ สัญลักษณ์หัวลูกศรยังไม่สามารถตรวจสอบทิศทางของหัวลูกศรได้ โปรแกรมที่พัฒนานี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้จริงสามารถลดการผิดพลาดของพนักงานที่เกิดขึ้น ค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ไม่แพง ส่งผลทำให้ภาพลักษณ์ของบริษัทที่ผลิตชิ้นงานที่มีคุณภาพและน่าเชื่อถือมากขึ้น



TNI

บทที่ 6 ผลดำเนินการ

ผลดำเนินการของโครงการวิจัยนี้ ได้ดำเนินการตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้โดยมีรายละเอียดดังนี้

6.1 การพัฒนาเครื่องต้นแบบ

การพัฒนาและสร้างชุดต้นแบบเครื่องตรวจสอบได้ดำเนินการออกแบบและสร้างชุดต้นแบบที่เป็นโครงสร้างสำหรับใช้ยึดกล้องและวางชิ้นงานดังรูปที่ 3.1 – รูปที่ 3.2 รายละเอียดต่าง ๆ ของเครื่องต้นแบบที่พัฒนาไว้แสดงดังภาพผนวก ก อุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น กล้องและเลนส์แสดงดังรูปที่ 3.3 ส่วนรายละเอียดเกี่ยวกับข้อมูลเฉพาะของอุปกรณ์แสดงดังภาพผนวก ข ส่วนการพัฒนาโปรแกรมได้เลือกพัฒนาโดยใช้โปรแกรม LabVIEW ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม โปรแกรมที่พัฒนาจะเป็นโปรแกรมที่สามารถใช้ตรวจสอบความผิดปกติของชิ้นงานเช่น รูเจาะ ร่องเจาะ ส่วนเว้า ส่วนโค้ง เป็นต้น โปรแกรมที่พัฒนาจะประกอบด้วยโปรแกรมส่วนที่ใช้ถ่ายภาพเพื่อเตรียมภาพต้นแบบ โปรแกรมส่วนที่กำหนดขอบเขตที่ต้องการตรวจสอบ และโปรแกรมตรวจสอบ โดยทั้งสามส่วนจะอยู่ในโปรแกรมเดียวกัน การพัฒนาเครื่องต้นแบบนี้ได้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

6.2 ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์

ผลงานที่ได้นำเสนอในงานประชุมวิชาการเป็น บทความงานประชุมวิชาการ ระดับประเทศ ปี 2562 แสดงในภาพผนวก ง ดังนี้

- พรชัย นิเวศน์รังสรรค์ การตรวจวัดการทาสีสัญลักษณ์บนท่อด้วยภาพโดยใช้เว็บแคม การประชุมวิชาการระดับชาติ The TNI Academic Conference 2019 ครั้งที่ 5, Engineering Technology and Digital Transformation in Industry, Business and Culture (TNIAC2019) วันศุกร์ที่ 31 พฤษภาคม 2562 สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น กรุงเทพฯ หน้า 361 – 365

6.3 สรุปการใช้งบประมาณโครงการวิจัย

งบประมาณโครงการวิจัยที่ได้ใช้ในการพัฒนาเครื่องต้นแบบสำหรับการตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพ ได้ใช้
งบประมาณจัดซื้อและจัดจ้างโดยมีรายละเอียดดังนี้

หมวดค่าใช้จ่าย	บาท	สต.
1. หมวดค่าจ้างพนักงานชั่วคราว - ไม่มี		
2. หมวดค่าใช้สอย - ไม่มี		
3. หมวดค่าตอบแทน - ไม่มี		
4. หมวดค่าวัสดุเพื่อการวิจัย - วัสดุสิ้นเปลือง เช่น ▪ อลูมิเนียม น็อต สกรู ▪ สายไฟ ▪ ไอซี ท่อหด ที่รัดสาย และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์		
5. หมวดค่าครุภัณฑ์เพื่อการวิจัย - คอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง	124,869	
- กล้องอุตสาหกรรมและเลนส์สำหรับถ่ายภาพชิ้นงาน 1 ชุด	96,621	
- ฐานและชุดยึดกล้อง (จ้างผลิต)	20,000	
(สองแสนสี่หมื่นหนึ่งพันสี่ร้อยเก้าสิบบาท) รวมเงิน	241,490	

บทที่ 7 สรุปผลการวิจัย

7.1 สรุป

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบ พัฒนาและสร้างชุดตรวจสอบชิ้นงานด้วยการถ่ายภาพซึ่งได้ออกแบบให้สามารถใช้งาน ร่วมกับการใช้เซนเซอร์ประเภทอื่น ๆ เช่น เซนเซอร์วัดระยะด้วยเลเซอร์ เป็นต้น ชุดต้นแบบที่ออกแบบไว้ดังรูปที่ 3.2 ประกอบด้วยชุดโครงสร้าง ชุดยึดกล้อง ชุดปรับระดับกล้อง กล้อง เลนส์ ชุดจับยึดเซนเซอร์อื่น ๆ และ คอมพิวเตอร์ ระบบที่พัฒนานี้จะใช้กล้องดิจิทัลที่มีความละเอียด 10 Mpixels และเลนส์แบบต่าง ๆ เช่น เลนส์ 12 mm และ เลนส์ 25 mm รวมถึงเลนส์ขยาย 30X-160X ขนาดของชิ้นงานที่สามารถตรวจสอบได้มีขนาดไม่เกิน 540 mm x 400 mm นอกจากนี้ยังได้พัฒนาโปรแกรมที่ใช้ในการตรวจวัดความผิดปกติของชิ้นงานตามตำแหน่งที่กำหนดเพื่อตรวจสอบว่ามีครบตามแบบที่กำหนดหรือไม่ เช่น ตำแหน่งรูเจาะ ร่อง ส่วนเว้าโค้ง เป็นต้น ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 ระบบตรวจวัดและโปรแกรมที่พัฒนาสามารถใช้ตรวจวัดความผิดปกติที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานได้ โดยสามารถวัดพร้อมกันได้ไม่เกิน 5 ตำแหน่ง มีขั้นตอนการทำงานของโปรแกรกดังนี้ การเตรียมภาพต้นแบบ การกำหนดขอบเขตที่ต้องการตรวจสอบ การกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ตรวจสอบ และการตรวจสอบชิ้นงาน ระบบที่พัฒนาสามารถทำงานได้ตามขอบเขตที่กำหนดไว้ และสามารถประยุกต์ใช้ในสายการผลิตได้จริง ซึ่งจะทำให้ลด ค่าใช้จ่ายและลดของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตได้

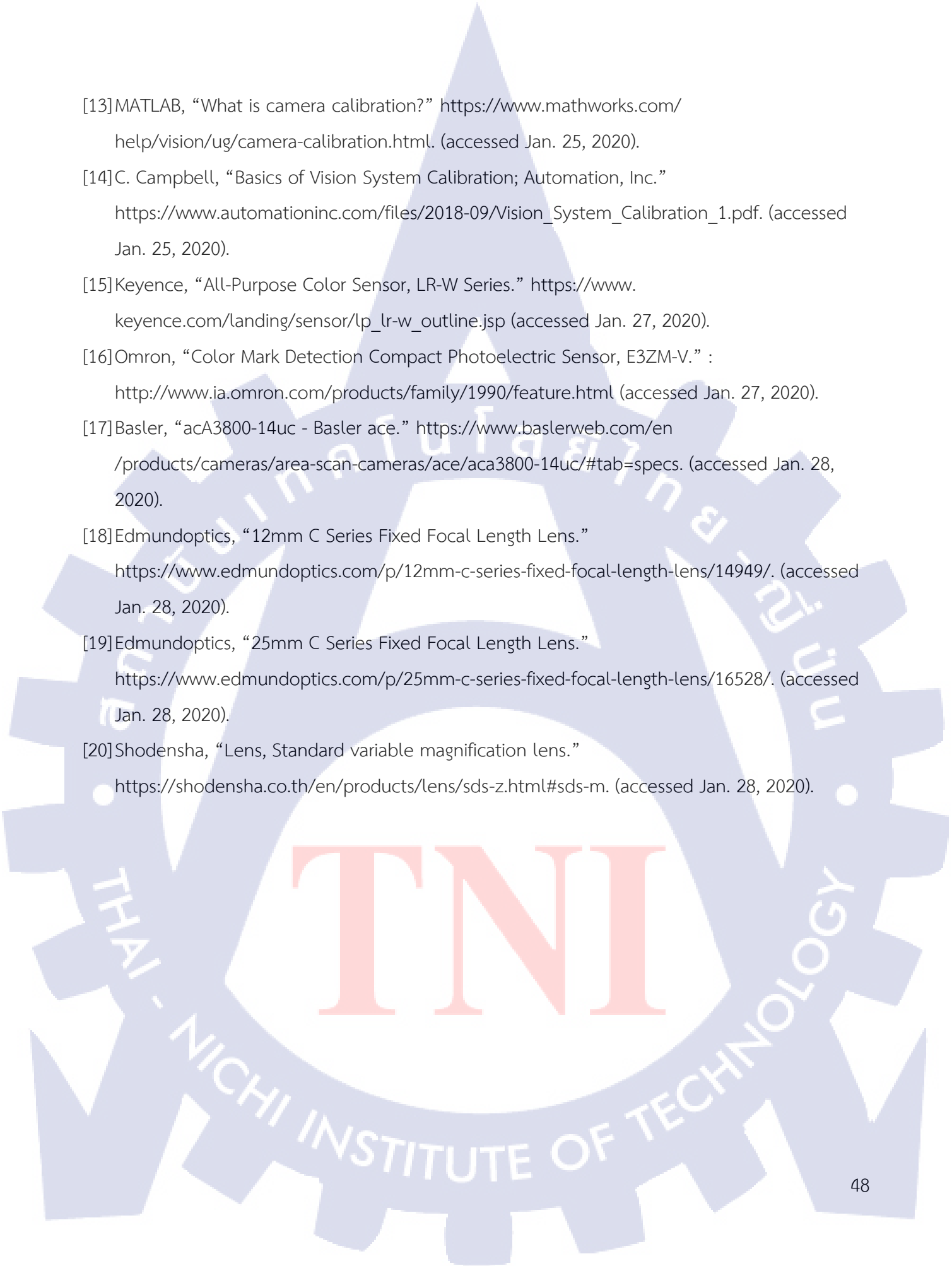
7.2 ข้อเสนอแนะ

ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้ยังจำเป็นต้องพัฒนาต่อเพื่อให้ระบบตรวจวัดสมบูรณ์และสามารถใช้งานได้มากขึ้น ซึ่งจำเป็นต้องใช้เวลาในการพัฒนาทั้งส่วนตัวเครื่องและโปรแกรม ส่วนที่สามารถพัฒนาต่อไปประกอบด้วย

- เครื่องตรวจวัดชิ้นงานด้วยภาพ ส่วนที่จำเป็นต้องปรับปรุงเพิ่มเติมคือ ระบบแสงสว่าง ซึ่งระบบนี้ จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องให้แสงสว่างกับชิ้นงาน ซึ่งบางครั้งจำเป็นต้องใช้แสงสีต่าง ๆ เพื่อให้การ ตรวจสอบมีความสามารถมากยิ่งขึ้น
- โปรแกรมที่ใช้ตรวจสอบ ส่วนโปรแกรมที่ต้องพัฒนาเพิ่มเติมคือ โปรแกรมที่ใช้สำหรับตรวจวัดมิติของ ชิ้นงาน โปรแกรมส่วนนี้จะมีรูปแบบ ความซับซ้อนและการใช้งานที่แตกต่างจากโปรแกรมตรวจสอบ ชิ้นงานที่พัฒนาขึ้น

บรรณานุกรม

- [1] Simpson Leigh, "Machine vision improves productivity in many ways," *Assem. Autom.*, vol. 23, no. 3, pp. 243–248, Jan. 2003, doi: 10.1108/01445150310698427.
- [2] Braggins Donald, "Vision today for assembly automation," *Emerald Group Publ. Ltd.*, vol. 26, no. 3, pp. 181–183, Jan. 2006, doi: 10.1108/01445150610679687.
- [3] Potter Ron, "Robots, vision systems and automatic gages streamline brake drum and rotor manufacturing," *Ind. Robot Int. J.*, vol. 29, no. 5, pp. 404–406, Jan. 2002, doi: 10.1108/01439910210440192.
- [4] Rooks Brian W., "Vision helping the automotive industry to better customer choice," *Ind. Robot Int. J.*, vol. 24, no. 1, pp. 48–51, Jan. 1997, doi: 10.1108/01439919710162674.
- [5] C. Relf, *Image acquisition and processing with LabVIEW*. 2003.
- [6] S. Huang and L. Shi, "Application of Labview machine vision in bearing size measurement," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 563, p. 042037, Aug. 2019, doi: 10.1088/1757-899X/563/4/042037.
- [7] Y. Wang, H. Lv, and N. Wang, "A Machine Vision System for Measurement of Mechanical Parts Based on LabVIEW 2012," *Adv. Mater. Res.*, vol. 834–836, pp. 1186–1189, Oct. 2013, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.834-836.1186.
- [8] B. Roy, S. Kv, and P. Bhowmik, "Inline Monitoring of Bottle filling Process Using Image Processing," vol. 2, pp. 33–38, Apr. 2012.
- [9] National Instruments, "NI Vision 2019 for LabVIEW Help, Edition: March 2019, Part Number: 370281AG-01." <http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/370281AG-01/> (accessed Jun. 04, 2563).
- [10] Edmundoptics, "Depth of Field and Depth of Focus." <https://www.edmundoptics.com/knowledge-center/application-notes/imaging/depth-of-field-and-depth-of-focus/> (accessed Jan. 22, 2020).
- [11] B. Benoit, "Introduction to vision sensors: The case for automation with machine vision." Cognex, 2019, [Online]. Available: <https://www.cognex.com/en-my/what-is/vision-sensors/vision-sensors-vs-vision-systems>.
- [12] Cognex, "In-sight 2000: Vision sensors." Cognex, 2019.

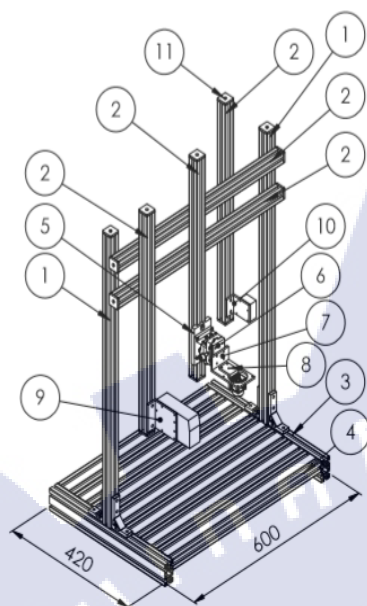
- 
- [13] MATLAB, “What is camera calibration?” <https://www.mathworks.com/help/vision/ug/camera-calibration.html>. (accessed Jan. 25, 2020).
- [14] C. Campbell, “Basics of Vision System Calibration; Automation, Inc.” https://www.automationinc.com/files/2018-09/Vision_System_Calibration_1.pdf. (accessed Jan. 25, 2020).
- [15] Keyence, “All-Purpose Color Sensor, LR-W Series.” https://www.keyence.com/landing/sensor/lp_lr-w_outline.jsp (accessed Jan. 27, 2020).
- [16] Omron, “Color Mark Detection Compact Photoelectric Sensor, E3ZM-V.” : <http://www.ia.omron.com/products/family/1990/feature.html> (accessed Jan. 27, 2020).
- [17] Basler, “acA3800-14uc - Basler ace.” <https://www.baslerweb.com/en/products/cameras/area-scan-cameras/ace/aca3800-14uc/#tab=specs>. (accessed Jan. 28, 2020).
- [18] Edmundoptics, “12mm C Series Fixed Focal Length Lens.” <https://www.edmundoptics.com/p/12mm-c-series-fixed-focal-length-lens/14949/>. (accessed Jan. 28, 2020).
- [19] Edmundoptics, “25mm C Series Fixed Focal Length Lens.” <https://www.edmundoptics.com/p/25mm-c-series-fixed-focal-length-lens/16528/>. (accessed Jan. 28, 2020).
- [20] Shodensha, “Lens, Standard variable magnification lens.” <https://shodensha.co.th/en/products/lens/sds-z.html#sds-m>. (accessed Jan. 28, 2020).

ภาคผนวก ก

Drawing ของชุดต้นแบบ Vision Kit

TNI

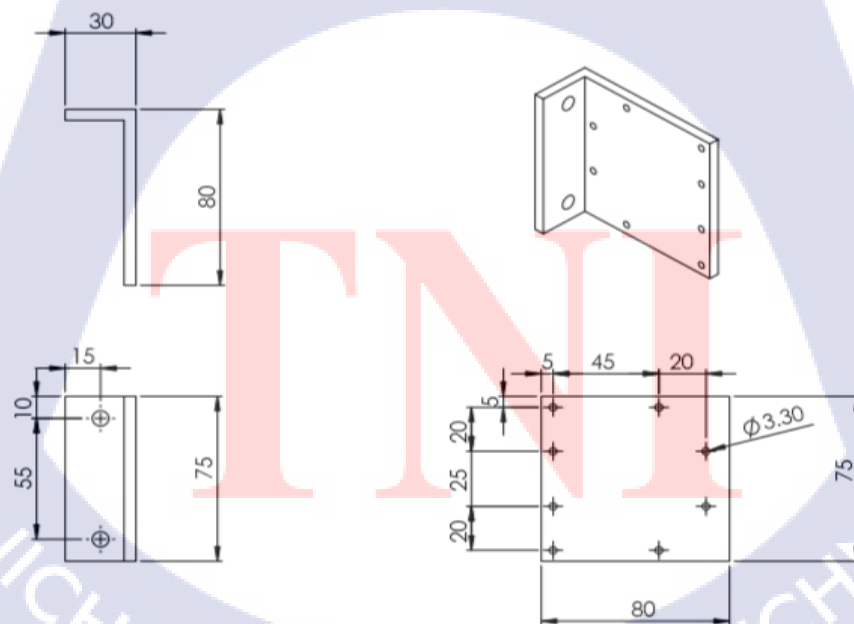
VISION STAND



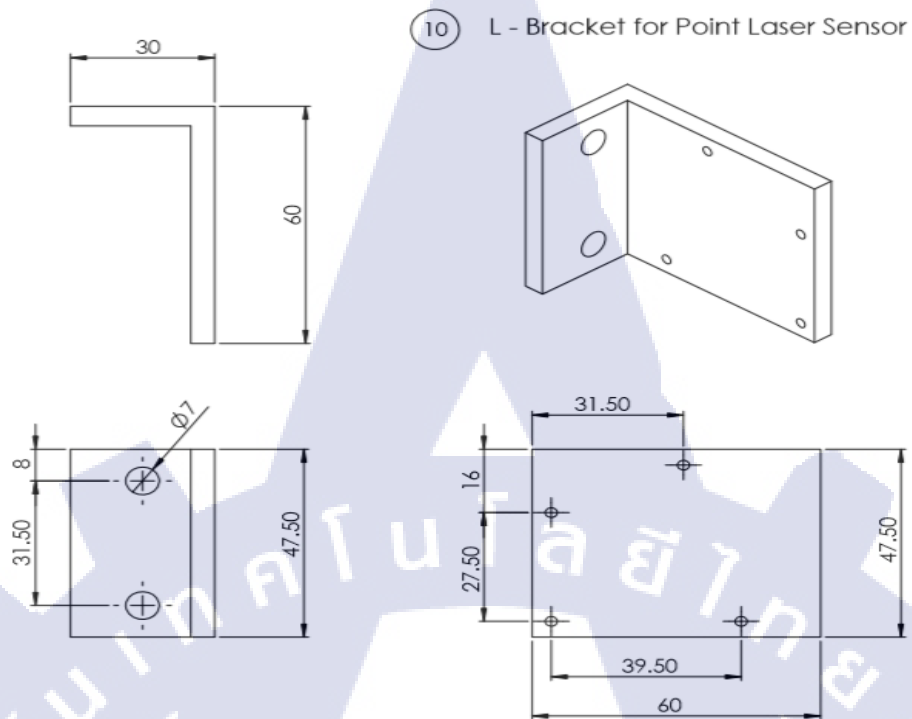
- ① AL Frame 30x30x800 mm = 2
- ② AL Frame 30x30x600 mm = 5
- ③ AL Frame 30x60x420 mm = 2
- ④ AL Frame 30x60x540 mm = 7
- ⑤ X-Y Table Holder = 1
- ⑥ X-Y Stage = 1
- ⑦ L - Bracket for Gagescope Camera = 1
- ⑧ L - Bracket for Busler Camera = 1
- ⑨ L - Bracket for Point Laser Sensor = 1
- ⑩ L - Bracket for Sheet Laser Sensor = 1
- ⑪ AL Frame Cover

รูปที่ ก - 1 รายละเอียดของชุด Vision Kit (หน่วย mm)

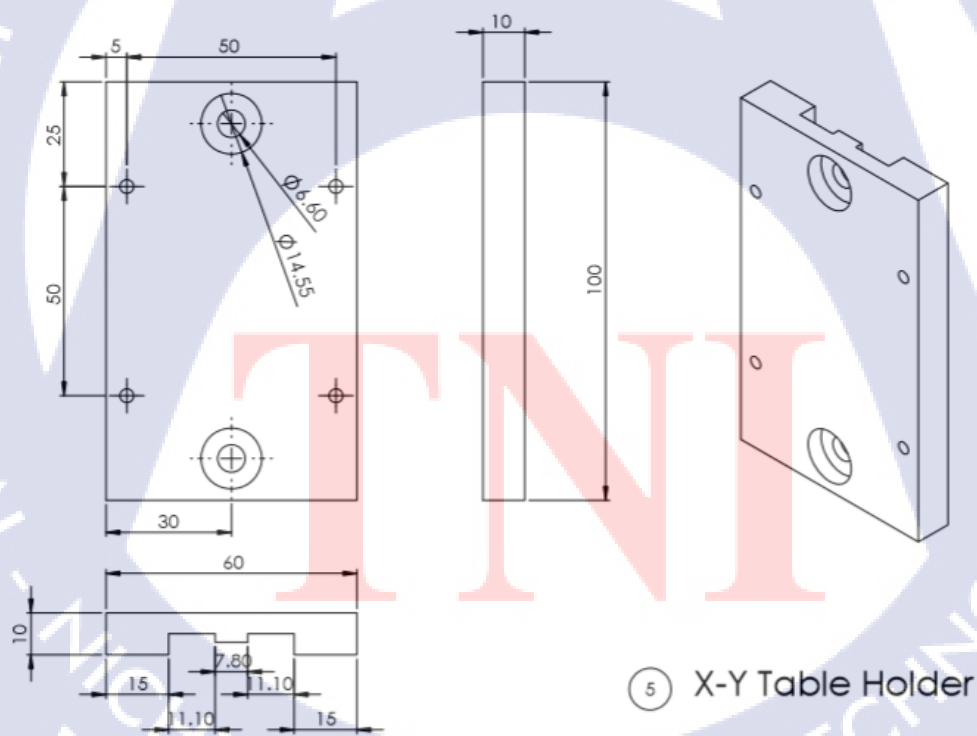
⑨ L - Bracket for Sheet Laser Sensor



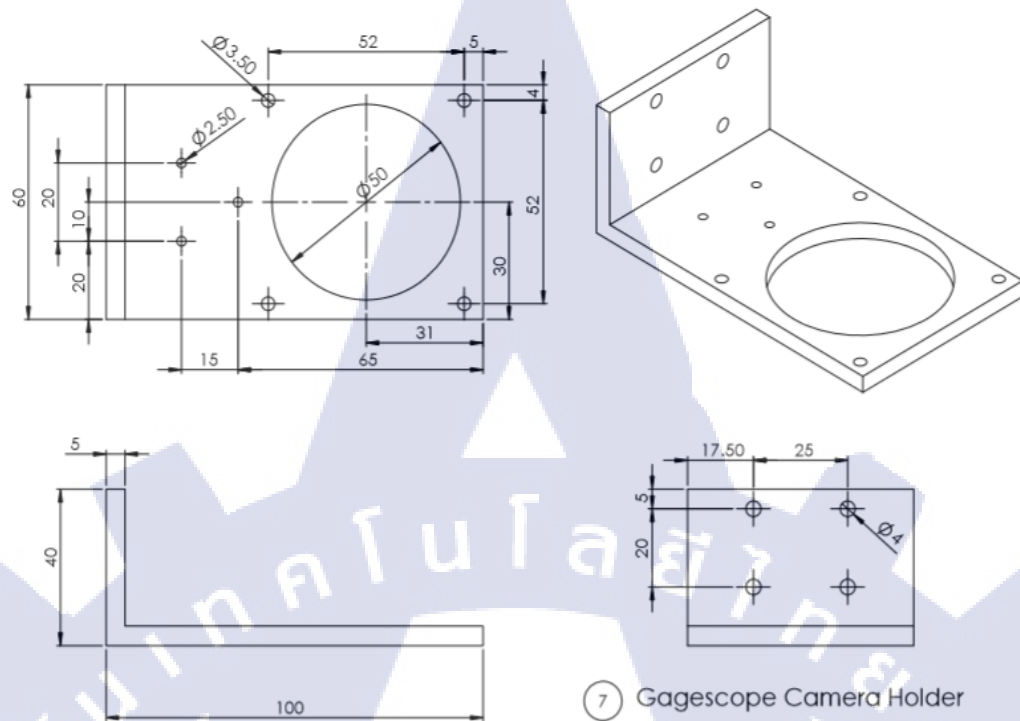
รูปที่ ก - 2 รายละเอียดชิ้นส่วนหมายเลข 9 ของชุด Vision Kit (หน่วย mm)



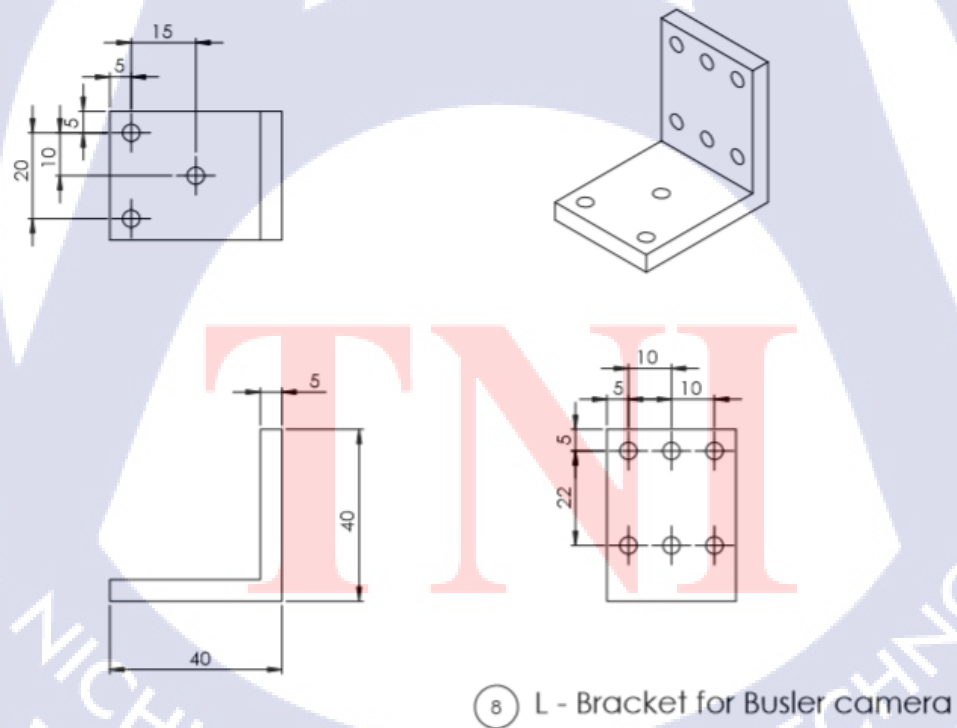
รูปที่ ก - 3 รายละเอียดชิ้นส่วนหมายเลข 10 ของชุด Vision Kit (หน่วย mm)



รูปที่ ก - 4 รายละเอียดชุดยึด X-Y Table ของชุด Vision Kit (หน่วย mm)



รูปที่ ก - 5 รายละเอียดชุดยึดกล้องของชุด Vision Kit (หน่วย mm)



รูปที่ ก - 6 รายละเอียดชุดยึดกล้องของชุด Vision Kit (หน่วย mm)

ภาคผนวก ข

รายละเอียดของกล้องและเลนส์

TNI

ภาคผนวก ข – 1 ข้อมูลเฉพาะของกล้องดิจิทัล Basler acA-3800 [17]

acA3800-14uc - Basler ace

The Basler acA3800-14uc USB 3.0 camera with the ON Semiconductor MT9J003 CMOS sensor delivers 14 frames per second at 10 MP resolution.



General Information

Order Number	106537
Product Line	ace classic
Price	For pricing, please use the request cart to get a quote.
Shipment	For information about shipping please use the request cart.

Sensor

Sensor Vendor	ON Semiconductor
Sensor	MT9J003
Shutter	Rolling Shutter
Max. Image Circle	1/2.3"
Sensor Type	CMOS
Sensor Size	6.4 mm x 4.6 mm
Resolution (HxV)	3840 px x 2748 px
Resolution	10 MP
Pixel Size (H x V)	1.67 μm x 1.67 μm
Frame Rate	14 fps
Mono/Color	Color

Camera Data

Interface	USB 3.0
Pixel Bit Depth	12 bits
Synchronization	▪ software trigger

Exposure Control	▪ hardware trigger
	▪ free-run
	▪ programmable via the camera API
	▪ hardware trigger
Digital Input	1
Digital Output	1
General Purpose I/O	2
Power Requirements	Via USB 3.0 interface
Power Consumption (typical)	2.8 W

Housing

Housing Type	Box
Housing Size (L x W x H)	29.3 mm x 29 mm x 29 mm
Lens Mount	

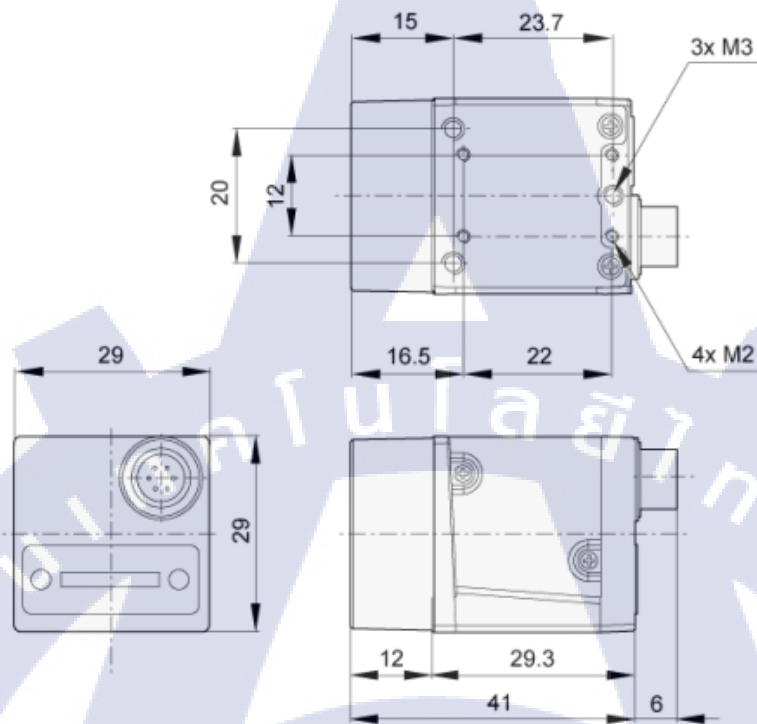
C-mount

Operating Temperature	0 - 50°C
Weight (typical)	80g

Conformity

Conformity	▪ CE
	▪ RoHS
	▪ GenICam
	▪ IP30
	▪ FCC
	▪ USB3 Vision
	▪ UL
	▪ KC

TNI



รูปที่ ข - 1 Drawing ของกล่อง

TNI

TECHSPEC® COMPACT FIXED FOCAL LENGTH LENS

#58-001 • 12mm FL • f/1.8

Designed for use in machine vision applications, our TECHSPEC® Compact Fixed Focal Length Lenses are ideal for use in factory automation, inspection or qualification. These machine vision lenses have been optically designed with the working distance and resolution requirements of factory automation and inspection in mind. Featuring large maximum apertures, these high performance lenses can be used in even the most restrictive lighting conditions. Each lens has a broadband anti-reflection coating, which increases transmission by up to 12 percent over the standard MgF2 coating on competitive lenses.



Focal Length:	12mm
Minimum Working Distance¹:	100mm
Focus Range¹ (Lockable):	100mm - ∞
Length at Near Focus:	27.9mm
Length at Far Focus:	27.9mm
Filter Thread:	M25.5 x 0.5
Max. Sensor Format:	2/3"
Camera Mount:	C-Mount

Aperture (f/#):	f/1.8 - f/16
Magnification Range:	0X - 0.055X
Distortion²:	<2.5%
Object Space NA²:	0.007
Number of Elements (Groups):	7 (7)
AR Coating:	425 - 675nm BBAR
Weight:	54g

Sensor Size	1/4"	1/3"	1/2.5"	1/2"	1/1.8"	2/3"	1"	4/3"
Field of View ³	64.4mm - 17.2°	85.9mm - 22.9°	102.4mm - 27.0°	115.0mm - 30.3°	130.0mm - 33.5°	159.4mm - 41.1°	N/A	N/A

1. From front of housing 2. At 300mm W.D. 3. Horizontal FOV on standard 4:3 sensor format. Min. W.D. - angular FOV at infinite conjugate

Specifications subject to change

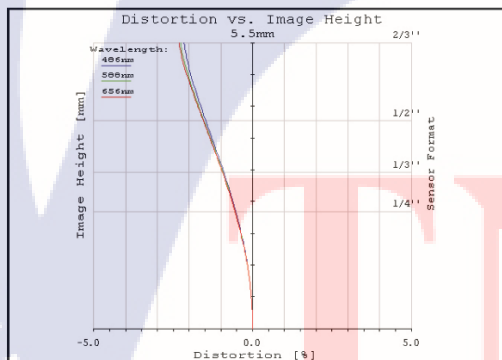


Figure 1: Distortion at the maximum sensor format. Positive values correspond to pincushion distortion, negative values correspond to barrel distortion.

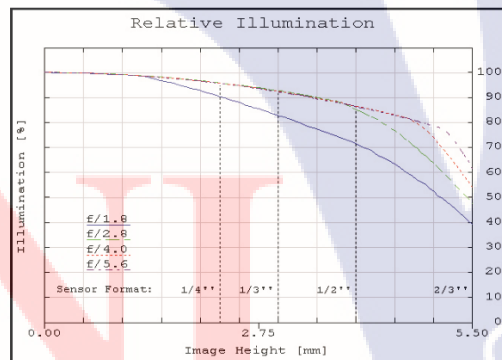


Figure 2: Relative illumination (center to corner)

In both plots, field points corresponding to the image circle of common sensor formats are included. Plots represent theoretical values from lens design software. Actual lens performance varies due to manufacturing tolerances.

ed Edmund
optics worldwide

www.edmundoptics.com

**TECHSPEC® COMPACT FIXED
FOCAL LENGTH LENS**
#58-001 • 12mm FL • f/1.8

MTF & DOF: f/2.8
WD: 300mm

TECHSPEC® COMPACT FIXED FOCAL LENGTH LENS

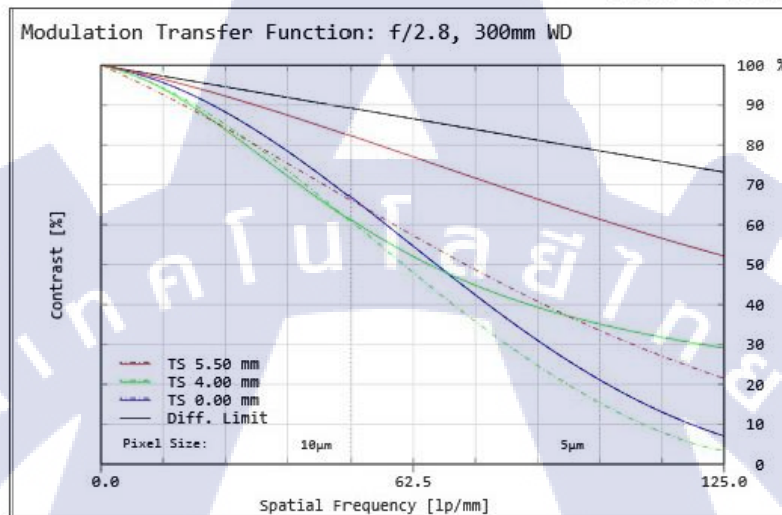


Figure 3: Image space polychromatic diffraction FFT Modulation Transfer Function (MTF) for $\lambda = 486\text{ nm}$ to 656 nm . Included are Tangential and Sagittal values for field points on center, at 70% of full field and at the maximum sensor format. Solid black line indicates diffraction limit determined by f/# defined aperture. Frequencies corresponding to the Nyquist resolution limit of pixel sizes are indicated.

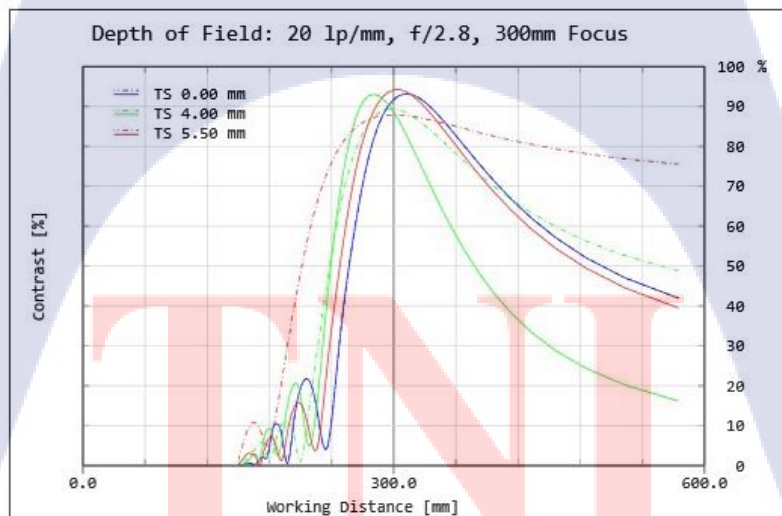


Figure 4: Polychromatic diffraction through focus MTF at 20 linepairs/mm (in image space). Contrast is plotted to two times the focus distance. Note object spatial frequency changes with working distance.

Plots represent theoretical values from lens design software. Actual lens performance varies due to manufacturing tolerances.

Edmund
optics worldwide

www.edmundoptics.com

© COPYRIGHT 2014 EDMUND OPTICS, INC. ALL RIGHTS RESERVED

**TECHSPEC® COMPACT FIXED
FOCAL LENGTH LENS**
#58-001 • 12mm FL • f/1.8

MTF & DOF: f/4.0
WD: 300mm

TECHSPEC® COMPACT FIXED FOCAL LENGTH LENS

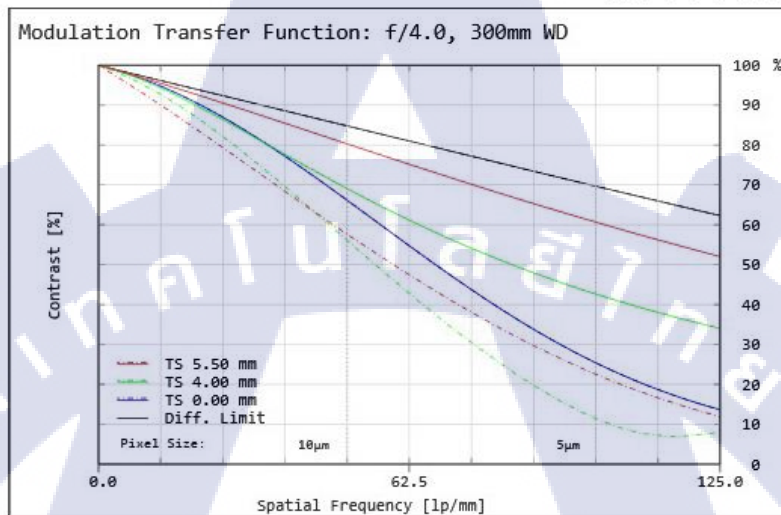


Figure 5: Image space polychromatic diffraction FFT Modulation Transfer Function (MTF) for $\lambda = 486\text{ nm}$ to 656 nm . Included are Tangential and Sagittal values for field points on center, at 70% of full field and at the maximum sensor format. Solid black line indicates diffraction limit determined by f/# defined aperture. Frequencies corresponding to the Nyquist resolution limit of pixel sizes are indicated.

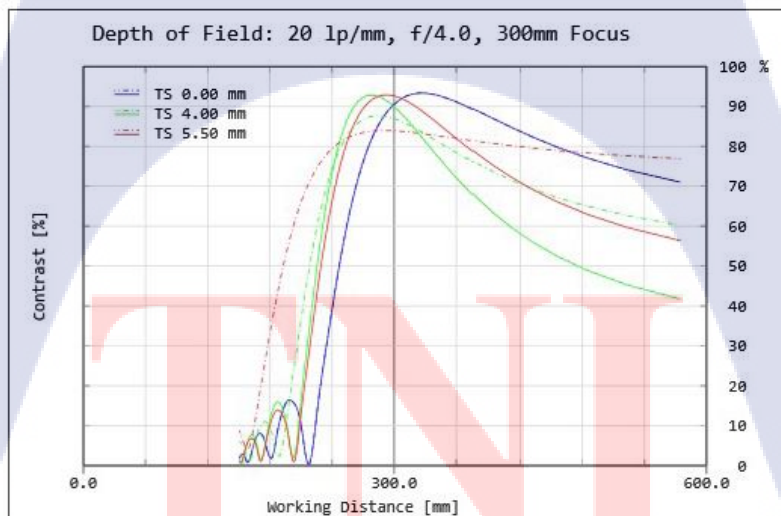


Figure 6: Polychromatic diffraction through focus MTF at 20 linepairs/mm (image space). Contrast is plotted to two times the focus distance. Note object spatial frequency changes with working distance.

Plots represent theoretical values from lens design software. Actual lens performance varies due to manufacturing tolerances.

Edmund
optics worldwide

www.edmundoptics.com

© COPYRIGHT 2014 EDMUND OPTICS, INC. ALL RIGHTS RESERVED

**TECHSPEC® COMPACT FIXED
FOCAL LENGTH LENS**
#58-001 • 12mm FL • f/1.8

MTF & DOF: f/2.8
WD: 750mm

TECHSPEC® COMPACT FIXED FOCAL LENGTH LENS

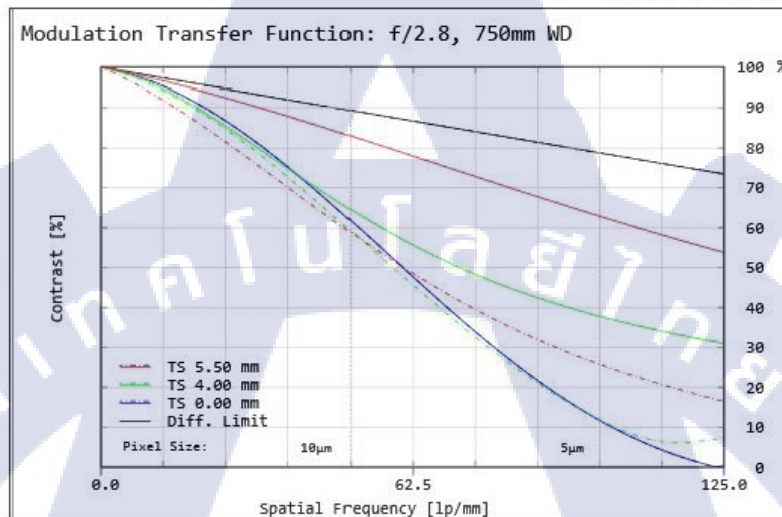


Figure 7: Image space polychromatic diffraction FFT Modulation Transfer Function (MTF) for $\lambda = 486\text{ nm}$ to 656 nm . Included are Tangential and Sagittal values for field points on center, at 70% of full field and at the maximum sensor format. Solid black line indicates diffraction limit determined by $f/\#$ defined aperture. Frequencies corresponding to the Nyquist resolution limit of pixel sizes are indicated.

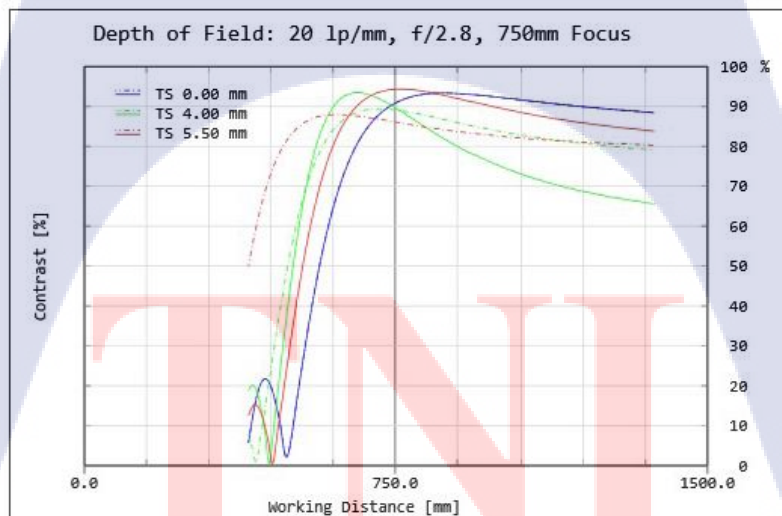


Figure 8: Polychromatic diffraction through focus MTF at 20 linepairs/mm (in image space). Contrast is plotted to two times the focus distance. Note object spatial frequency changes with working distance.

Plots represent theoretical values from lens design software. Actual lens performance varies due to manufacturing tolerances.

Edmund
optics worldwide

www.edmundoptics.com

© COPYRIGHT 2014 EDMUND OPTICS, INC. ALL RIGHTS RESERVED

**TECHSPEC® COMPACT FIXED
FOCAL LENGTH LENS**
#58-001 • 12mm FL • f/1.8

MTF & DOF: f/4.0
WD: 750mm

TECHSPEC® COMPACT FIXED FOCAL LENGTH LENS

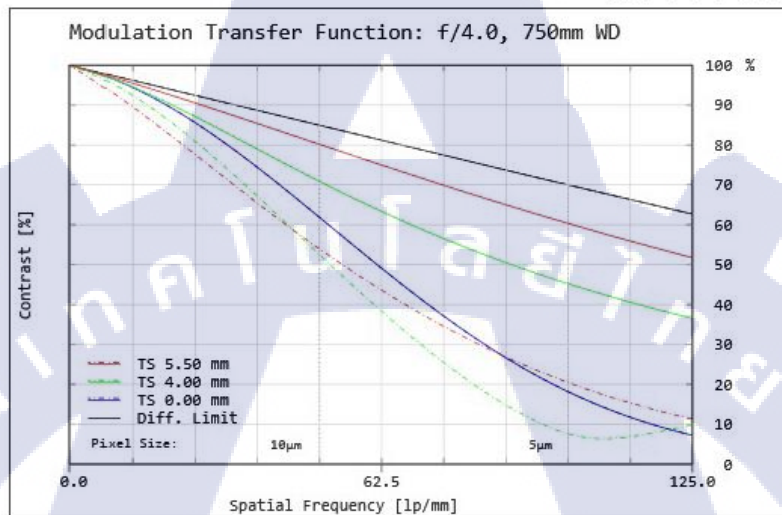


Figure 9: Image space polychromatic diffraction FFT Modulation Transfer Function (MTF) for $\lambda = 486\text{ nm}$ to 656 nm . Included are Tangential and Sagittal values for field points on center, at 70% of full field and at the maximum sensor form at. Solid black line indicates diffraction limit determined by f/# defined aperture. Frequencies corresponding to the Nyquist resolution limit of pixel sizes are indicated.

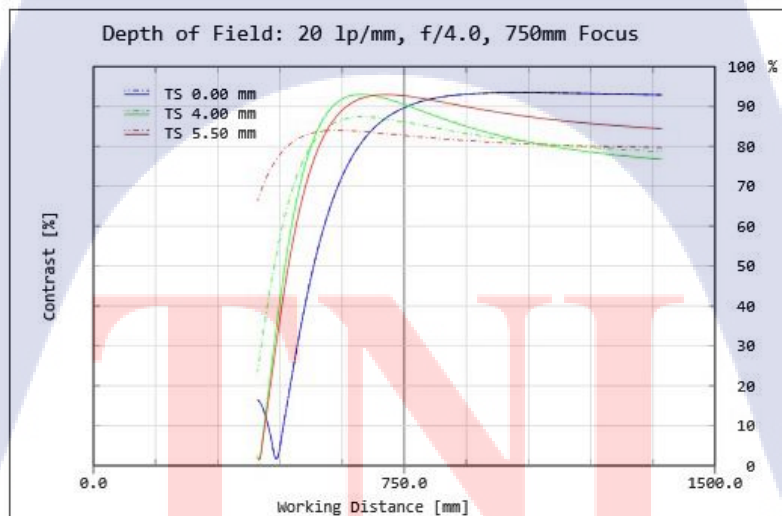


Figure 10: Polychromatic diffraction through-focus MTF at 20 linepairs/mm (image space). Contrast is plotted to two times the focus distance. Note object spatial frequency changes with working distance.

Plots represent theoretical values from lens design software. Actual lens performance varies due to manufacturing tolerances.

Edmund
optics worldwide

www.edmundoptics.com

© COPYRIGHT 2014 EDMUND OPTICS, INC. ALL RIGHTS RESERVED

TECHSPEC® COMPACT FIXED FOCAL LENGTH LENS

#59-871 • 25mm FL • f/1.4

TECHSPEC® COMPACT FIXED FOCAL LENGTH LENS

Designed for use in machine vision applications, our TECHSPEC® Compact Fixed Focal Length Lenses are ideal for use in factory automation, inspection or qualification. These machine vision lenses have been optically designed with the working distance and resolution requirements of factory automation and inspection in mind. Featuring large maximum apertures, these high performance lenses can be used in even the most restrictive lighting conditions. Each lens has a broadband anti-reflection coating, which increases transmission by up to 12 percent over the standard MgF_2 coating on competitive lenses.



Focal Length:	25mm
Minimum Working Distance¹:	100mm
Focus Range¹ (Lockable):	100mm - ∞
Length at Near Focus:	30.43mm
Length at Far Focus:	30.43mm
Filter Thread:	M25.5 x 0.5
Max. Sensor Format:	2/3"
Camera Mount:	C-Mount

Aperture (f/#):	f/1.4 - f/17
Magnification Range:	0X - 0.025X
Distortion²:	<0.7%
Object Space NA²:	0.023
Number of Elements (Groups):	7 (6)
AR Coatings:	425 - 675nm BBAR
Weight:	49g

Sensor Size	1/4"	1/5"	1/5.5"	1/3"	1/4"	1/3"	1/2"	2/3"
Field of View ³	14.2mm - 8.2°	19.0mm - 10.9°	22.6mm - 12.9°	25.4mm - 14.5°	28.5mm - 16.1°	35.0mm - 19.8°	N/A	N/A

1. From front of housing 2. At 200mm W.D. 3. Horizontal FOV on standard 4:3 sensor format. Min. W.D. - angular FOV at infinite conjugate

Specifications subject to change

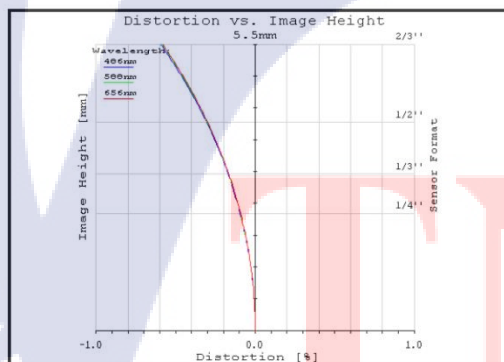


Figure 1: Distortion at the maximum sensor format. Positive values correspond to pincushion distortion, negative values correspond to barrel distortion.

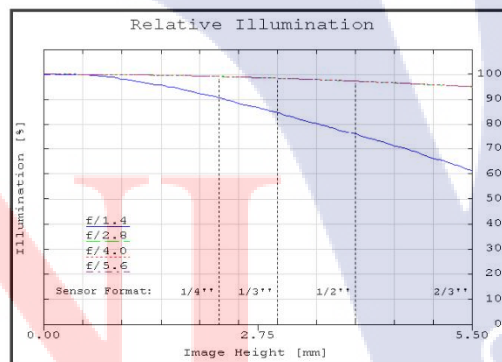


Figure 2: Relative illumination (center to corner)

In both plots, field points corresponding to the image circle of common sensor formats are included. Plots represent theoretical values from lens design software. Actual lens performance varies due to manufacturing tolerances.

Edmund
optics | worldwide

www.edmundoptics.com

**TECHSPEC® COMPACT FIXED
FOCAL LENGTH LENS**
#59-871 • 25mm FL • f/1.4

MTF & DOF: f/2.8
WD: 200mm

TECHSPEC® COMPACT FIXED FOCAL LENGTH LENS

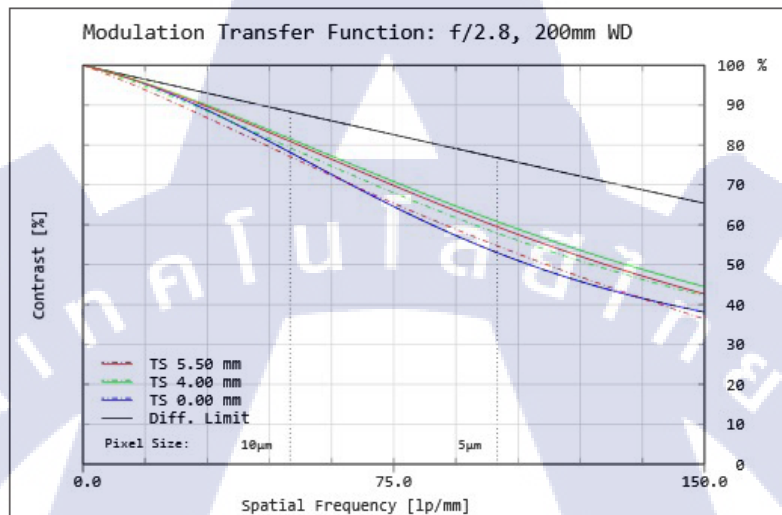


Figure 3: Image space polychromatic diffraction FFT Modulation Transfer Function (MTF) for $\lambda = 486\text{ nm}$ to 656 nm . Included are Tangential and Sagittal values for field points on center, at 70% of full field and at the maximum sensor form at. Solid black line indicates diffraction limit determined by f/# defined aperture. Frequencies corresponding to the Nyquist resolution limit of pixel sizes are indicated.

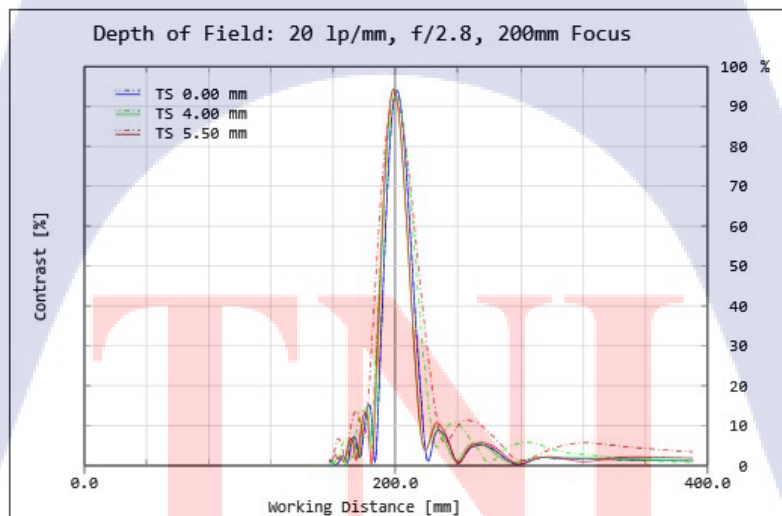


Figure 4: Polychromatic diffraction through focus MTF at 20 linepairs/mm (in image space). Contrast is plotted to two times the focus distance. Note object spatial frequency changes with working distance.

Plots represent theoretical values from lens design software. Actual lens performance varies due to manufacturing tolerances.

Edmund
optics | worldwide

www.edmundoptics.com

© COPYRIGHT 2014 EDMUND OPTICS, INC. ALL RIGHTS RESERVED

**TECHSPEC® COMPACT FIXED
FOCAL LENGTH LENS**
#59-871 • 25mm FL • f/1.4

MTF & DOF: f/4.0
WD: 200mm

TECHSPEC® COMPACT FIXED FOCAL LENGTH LENS

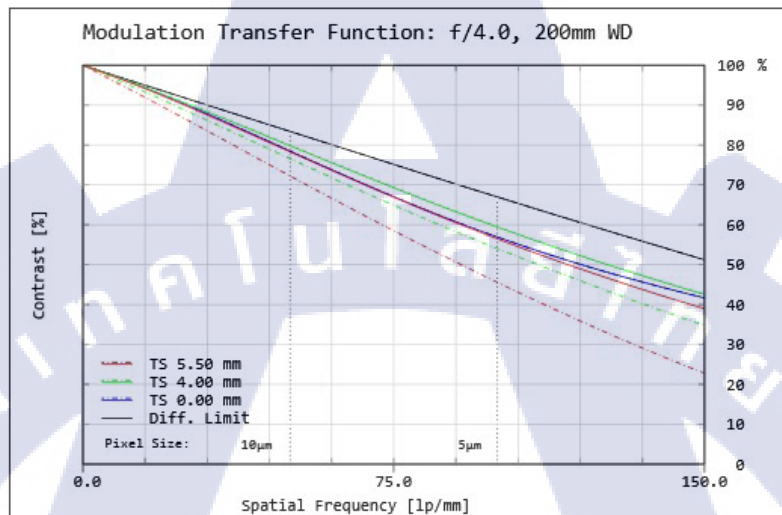


Figure 5: Image space polychromatic diffraction FFT Modulation Transfer Function (MTF) for $\lambda = 486\text{ nm}$ to 656 nm . Included are Tangential and Sagittal values for field points on center, at 70% of full field and at the maximum sensor format. Solid black line indicates diffraction limit determined by f/# defined aperture. Frequencies corresponding to the Nyquist resolution limit of pixel sizes are indicated.

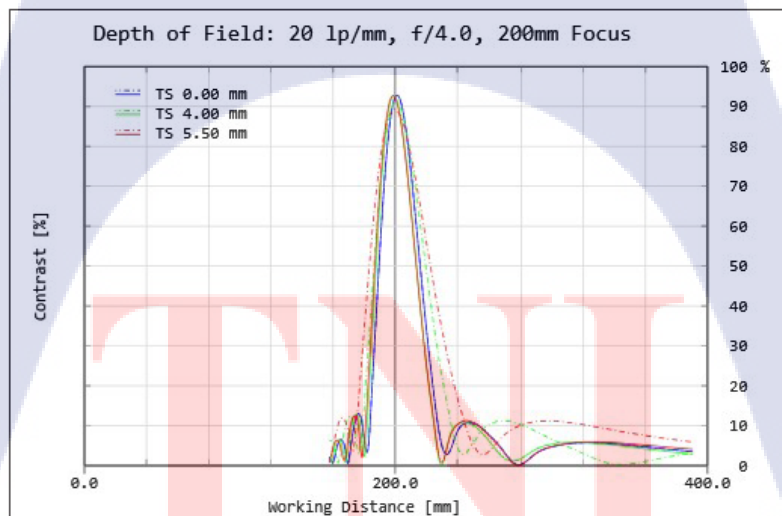


Figure 6: Polychromatic diffraction through focus MTF at 20 linepairs/mm (in image space). Contrast is plotted to two times the focus distance. Note object spatial frequency changes with working distance.

Plots represent theoretical values from lens design software. Actual lens performance varies due to manufacturing tolerances.

Edmund
optics worldwide

www.edmundoptics.com

© COPYRIGHT 2014 EDMUND OPTICS, INC. ALL RIGHTS RESERVED

**TECHSPEC® COMPACT FIXED
FOCAL LENGTH LENS**
#59-871 • 25mm FL • f/1.4

MTF & DOF: f/2.8
WD: 500mm

TECHSPEC® COMPACT FIXED FOCAL LENGTH LENS

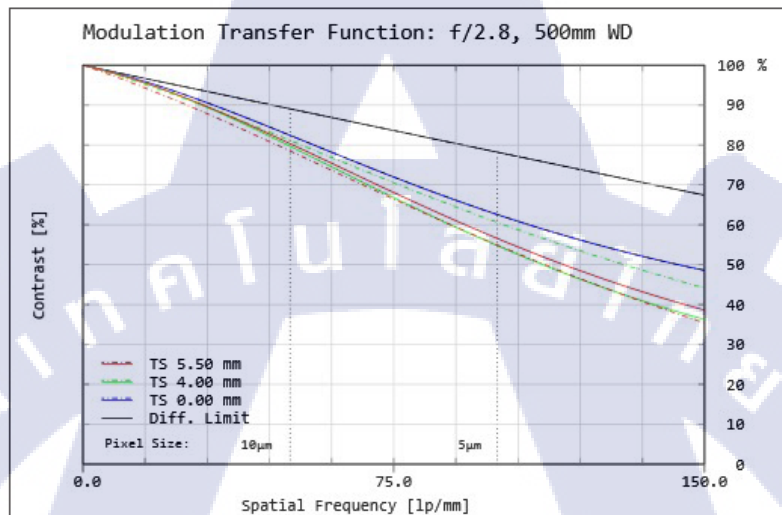


Figure 7: Image space polychromatic diffraction FFT Modulation Transfer Function (MTF) for $\lambda = 486\text{ nm}$ to 656 nm . Included are Tangential and Sagittal values for field points on center, at 70% of full field and at the maximum sensor format. Solid black line indicates diffraction limit determined by f/# defined aperture. Frequencies corresponding to the Nyquist resolution limit of pixel sizes are indicated.

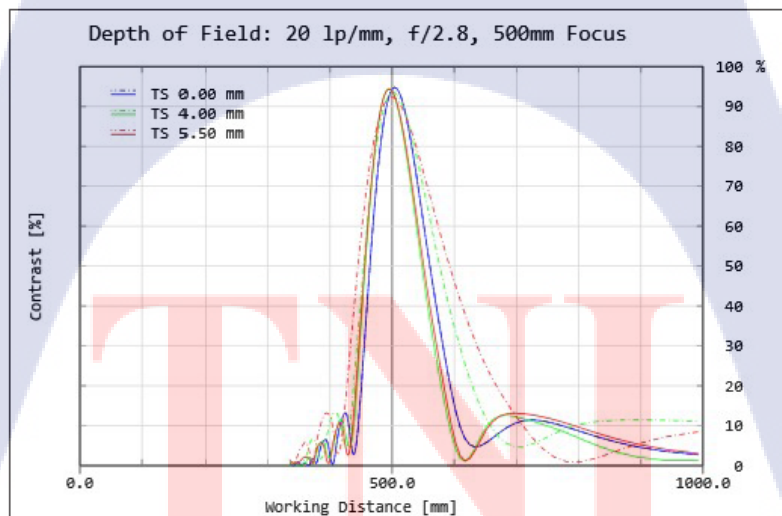


Figure 8: Polychromatic diffraction through focus MTF at 20 linepairs/mm (in image space). Contrast is plotted to two times the focus distance. Note object spatial frequency changes with working distance.

Plots represent theoretical values from lens design software. Actual lens performance varies due to manufacturing tolerances.

Edmund
optics | worldwide

www.edmundoptics.com

© COPYRIGHT 2014 EDMUND OPTICS, INC. ALL RIGHTS RESERVED

**TECHSPEC® COMPACT FIXED
FOCAL LENGTH LENS**
#59-871 • 25mm FL • f/1.4

MTF & DOF: f/4.0
WD: 500mm

TECHSPEC® COMPACT FIXED FOCAL LENGTH LENS

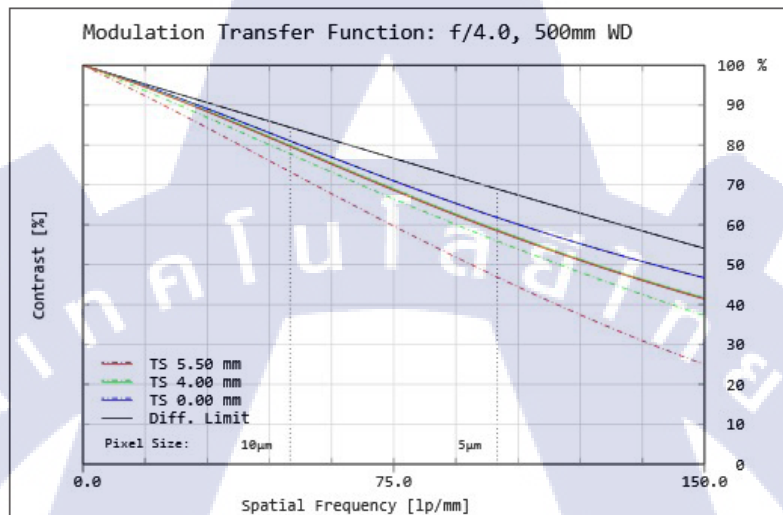


Figure 9: Image space polychromatic diffraction FFT Modulation Transfer Function (MTF) for $\lambda = 486\text{ nm}$ to 656 nm . Included are Tangential and Sagittal values for field points on center, at 70% of full field and at the maximum sensor form at. Solid black line indicates diffraction limit determined by f/# defined aperture. Frequencies corresponding to the Nyquist resolution limit of pixel sizes are indicated.

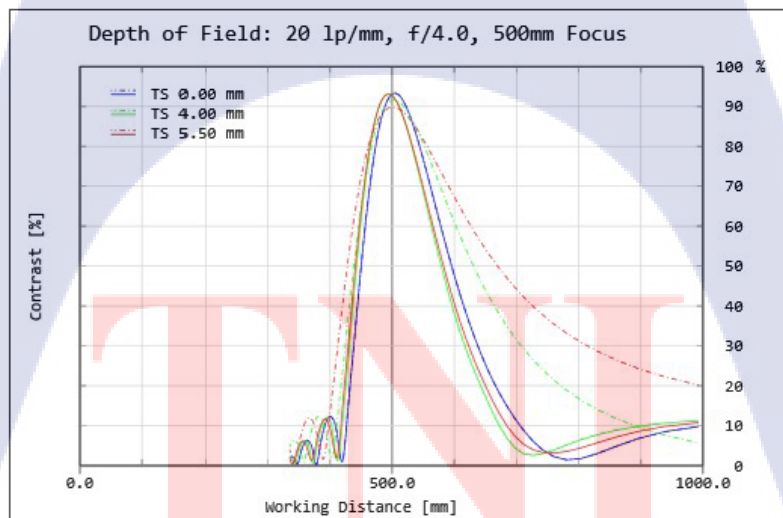


Figure 10: Polychromatic diffraction through-focus MTF at 20 linepairs/mm (image space). Contrast is plotted to two times the focus distance. Note object spatial frequency changes with working distance.

Plots represent theoretical values from lens design software. Actual lens performance varies due to manufacturing tolerances.

Edmund
optics | worldwide

www.edmundoptics.com

© COPYRIGHT 2014 EDMUND OPTICS, INC. ALL RIGHTS RESERVED

ภาคผนวก ข – 4 ข้อมูลเฉพาะของเลนส์ Shodensha SDS-M [20]

Standard variable magnification lens



Standard variable magnification lens SDS-M

•Standard type variable magnification lens

•Lens diameter: ϕ 50mm

▶ Variable magnification lens spec

Model	Mount	Supported camera	Focus distance	Magnification	Optical magnification
SDS-M	C Mount	1/2" 1/3"	90~95mm	30x~160x	0.35~2.25

ภาคผนวก ค
ประวัติคณะผู้ดำเนินงานวิจัย

TNI

ภาคผนวก ค ประวัติคณะผู้ดำเนินงานวิจัย (เสนอเรียงลำดับหมายเลขจนครบทุกคนในคณะ)

[1] ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) ผศ. ดร. พรชัย นิเวศน์รังสรรค์

(ภาษาอังกฤษ) Asst. Prof. Dr. Pornchai Nivesrangan

ตำแหน่ง ประธานสาขาวิศวกรรมยานยนต์ สถานที่ทำงาน สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
คุณวุฒิ

(1) ปริญญาเอก Ph.D. (Mechanical Engineering) Heriot-Watt University, Scotland, UK.

(2) ปริญญาโท M.Sc. (Manufacturing and Management) Coventry University, UK.

(3) ปริญญาตรี วศบ. (วิศวกรรมเครื่องกล) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ลาดกระบัง กรุงเทพฯ

ประสบการณ์ในงานวิจัย

(1) การตรวจสอบสภาพเครื่องจักรกลด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือนและสัญญาณอคูสติกอิมพัลส์

(2) การหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดด้วยสัญญาณอคูสติกอิมพัลส์

(3) ระบบตรวจวัดชิ้นงานด้วยเซนเซอร์

[2] ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) ผศ. ดร. วราคม เนदन้อย

(ภาษาอังกฤษ) Asst. Prof. Dr. Warakom Nerdnoi

ตำแหน่ง อาจารย์ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถานที่ทำงาน สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
คุณวุฒิ

(1) ปริญญาเอก Ph.D. (Manufacturing) Coventry University, Coventry, UK.

(2) ปริญญาโท M.Sc. (Manufacturing and Management) Coventry University, UK.

(3) ปริญญาตรี วศบ. (วิศวกรรมเครื่องกล) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ลาดกระบัง กรุงเทพฯ

ประสบการณ์ในงานวิจัย

(1) เครื่องมือวัดละเอียด ระบบวัด มาตรวิทยา

(2) การสอบเทียบเครื่องมือวัด

(3) การออกแบบเครื่องสอบเทียบและวิธีการสอบเทียบเครื่องมือวัด

[3] ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) ดร. วชรินทร์ หนูทอง
(ภาษาอังกฤษ) Dr. Watcharin Nutong

ตำแหน่ง อาจารย์ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
คุณวุฒิ

- (1) ปริญญาเอก Ph.D. (Mechanical Engineering), KMITL, Thailand
- (2) ปริญญาโท M.Sc. (Manufacturing and Management), Coventry University, UK.
- (3) ปริญญาตรี วศบ. (วิศวกรรมเครื่องกล) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ลาดกระบัง กรุงเทพฯ

ประสบการณ์ในงานวิจัย

- (1) การเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
- (2) การจำลองการทำงานของสายงานผลิตด้วยโปรแกรม ARENA
- (3) ระบบตรวจวัดชิ้นงานด้วยเซนเซอร์

[4] ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) ผศ. ศิริชัย พุฒวัฒนะ
(ภาษาอังกฤษ) Asst. Prof. Sirichai Putwattana

ตำแหน่ง อาจารย์ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
คุณวุฒิ

- (1) ปริญญาโท M.S. Tech. Ed. (Mechanical Engineering), KMUTNB, Thailand.
- (2) ปริญญาตรี B.S. Tech. Ed. (Mechanical Engineering), KMITNB, Thailand.

ประสบการณ์ในงานวิจัย

- (1) การทำ Alignment เครื่องสอบเทียบไม้บรรทัด และเครื่องจักรกล
- (2) การออกแบบเครื่องจักรกลและชิ้นส่วนเครื่องจักรกล
- (3) ระบบตรวจวัดชิ้นงานด้วยเซนเซอร์

ภาคผนวก ง
ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์

TNI

การตรวจวัดการทำสัญลักษณ์บนท่อด้วยภาพโดยใช้เว็บแคม Vision Inspection of Marking on Hose Using Webcam

พรชัย นินเวศน์รังสรรค์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ถนนพัฒนาการ
เขตสวนหลวง กรุงเทพมหานคร 10250
ติดต่อ: pornchai@tniac.th

บทคัดย่อ — กระบวนการทำสัญลักษณ์เป็นกระบวนการหนึ่งที่สำคัญในการผลิตท่อไฮดรอลิกสำหรับระบบบังคับลิ้น และมักเกิดข้อผิดพลาดขึ้นที่กระบวนการผลิตนี้ การศึกษาเป็นกรณีศึกษาเกี่ยวกับการใช้แนวคิด Pokayoke และ เทคโนโลยีการตรวจวัดด้วยภาพถ่าย มาประยุกต์เพื่อปรับปรุงข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตนี้ ระบบการตรวจวัดนี้ใช้กล้องเว็บแคมถ่ายภาพท่อไฮดรอลิก และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อทำหน้าที่ตรวจวัดการทำสัญลักษณ์บนท่อ ระบบมีส่วนประกอบคือ กล้องเว็บแคม 2 ตัว ชุดยึดจับกล้อง และโปรแกรมตรวจวัดภาพถ่าย ก่อนการประยุกต์ใช้ระบบตรวจวัดด้วยภาพพบว่ามีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น 30 ppm ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการแก้ไขงาน และต้องมีการตรวจวัดชิ้นงานหลายขั้นตอน หลังจากการประยุกต์ใช้ระบบตรวจวัดด้วยภาพพบว่า ไม่มีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต (0 ppm) ไม่มีค่าใช้จ่ายในการแก้ไขงาน และขั้นตอนการตรวจคุณภาพชิ้นงานลดลง

คำสำคัญ — การตรวจสอบด้วยการถ่ายภาพ, กล้องเว็บแคม, ท่อไฮดรอลิก, การทำสัญลักษณ์

ABSTRACT — *Marking process is an important process for power steering hose. Defects were found in this process by in-process inspection and final product inspection. This case study was applied pokayoke concept and new inspection technology and technique to improve production. Vision inspection system using webcam was developed to inspect marks on hose which is composed of two webcams, webcam holder, and vision inspection program. Before inspection system was implemented, it is found that 30 ppm of defect was found. Costs of repair works and various inspections in marking process were necessary. After inspection system was implemented, no defect was found. Cost of repair work was necessary and inspection in marking production was reduced.*

Keywords — *Vision inspection, Webcam, Hydraulic Hose, Marking*

I. บทนำ

ปัจจุบันการลดต้นทุนในการผลิตของอุตสาหกรรมยานยนต์เป็นปัจจัยสำคัญต่อบริษัทและโรงงานต่าง ๆ การใช้เทคนิคเชิงบริหารต่าง ๆ เพื่อเพิ่มผลผลิตและลดข้อเสียจากกระบวนการผลิตสามารถทำได้เพียงส่วนหนึ่ง

เท่านั้น การลดข้อเสียจากกระบวนการผลิตสามารถกระทำได้โดยการนำระบบการตรวจสอบมาช่วยตรวจวัดจุดที่ต้องการตรวจสอบ เพื่อที่จะทราบข้อมูลจากกระบวนการผลิตและปัญหาที่เกิดขึ้นได้ทันเวลา งานวิจัยนี้เป็นกรณีศึกษาในการนำระบบการตรวจสอบชิ้นงานเพื่อป้องกันความผิดพลาดมาประยุกต์ใช้กับกระบวนการทำสัญลักษณ์บนท่อไฮดรอลิก (Hose) ของบริษัทในอุตสาหกรรมยานยนต์ เช่น ท่อไฮดรอลิกในระบบบังคับลิ้น ท่อไฮดรอลิกในรถแทรกเตอร์ เป็นต้น ปัจจุบันการแข่งขันในตลาดค่อนข้างรุนแรง ดังนั้นบริษัทจึงจำเป็นต้องหาเทคนิคและเทคโนโลยีใหม่ ๆ มาประยุกต์เพื่อทำให้ต้นทุนการผลิตลดลง ผลิตได้เร็วขึ้น และสามารถแข่งขันในตลาดได้ บริษัทมีเป้าหมายที่จะทำให้ในทุกขั้นตอนการผลิตปราศจากข้อเสีย (Zero defect)

การทำสัญลักษณ์ (Marking Process) ซึ่งเป็นกระบวนการท้ายสุดของการผลิตท่อไฮดรอลิก โดยจะใช้ตัวพิมพ์รูปต่าง ๆ พิมพ์สัญลักษณ์ลงบนท่อเช่น หัวลูกศร วงแหวน หรือสัญลักษณ์อื่นๆ เป็นต้น ปัญหาที่พบคือพนักงานทำสัญลักษณ์ที่ไม่ครบตามตำแหน่งที่กำหนด และมักจะตรวจพบโดยผู้ตรวจสอบคุณภาพด้วยการสุ่มตรวจชิ้นงานในขั้นตอนสุดท้าย เมื่อผู้ตรวจสอบพบข้อผิดพลาดที่ไม่ครบจะต้องนำท่อมาทำสัญลักษณ์ใหม่อีกครั้งจึงทำให้เกิดการสูญเสีย เช่น การเสียเวลา การเสียค่าใช้จ่ายในการแก้ไขงาน การสูญเสียเนื่องจากลูกค้าปฏิเสธที่จะรับงาน เป็นต้น

กระบวนการทำสัญลักษณ์จะมีขั้นตอนดังนี้ นำท่อมาวางที่ JIG ตามรูปแบบที่กำหนด ทำสัญลักษณ์รูปหัวลูกศร วงแหวน หรืออื่นๆ ลงบนท่อตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ ตรวจสอบชิ้นงาน และบรรจุท่อใส่ถุงใส ปัญหาที่เกิดขึ้นมักจะเกิดที่ขั้นตอนการทำสัญลักษณ์เช่น ไม่ทำสัญลักษณ์ไว้บนท่อสัญลักษณ์ไม่ชัด เป็นต้น บริษัทจึงกำหนดเป้าหมายว่าต้องไม่มีข้อเสียเกิดขึ้น (Zero defect) ที่กระบวนการทำสัญลักษณ์นี้ เพื่อไม่ให้มีข้อเสียเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต และป้องกันไม่ให้มีข้อเสียไปยังลูกค้า ดังนั้นการแก้ปัญหาได้มีการประยุกต์เทคนิคการตรวจสอบชิ้นงานด้วยกล้องเว็บแคมโดยใช้โปรแกรม LabVIEW เพื่อใช้ตรวจสอบตำแหน่งที่ต้องทำสัญลักษณ์ตามที่กำหนด ก่อนที่จะส่งไปยังขั้นตอนบรรจุท่อต่อไป

II. การวิเคราะห์ปัญหา

ตัวอย่างท่อไฮดรอลิกที่ใช้ในรถยนต์ยี่ห้อหนึ่งเป็นกรณีศึกษา ท่อนี้ต้องทำสัญลักษณ์ทั้งหมด 4 ตำแหน่งบนท่อ โดยตำแหน่งที่ทำสัญลักษณ์ประกอบด้วยรูปหัวลูกศร 2 ตำแหน่ง (ที่ปลายท่อทั้งสองด้าน) และวงแหวน 2 ตำแหน่งแสดงดังรูปที่ 1 และ ตัวอย่างท่อไฮดรอลิกที่ทำสัญลักษณ์ไม่ครบ

แสดงดังรูปที่ II ขั้นตอนการทำสัญลักษณ์บนท่อตั้งที่กล่าวก่อนหน้า ท่อจะถูกนำมายาวบน JIG ดังรูปที่ III การทำสัญลักษณ์จะทำตามลำดับคือ 1-2-3-4 โดยจะทำสัญลักษณ์รูปลูกศรที่ปลายท่อแต่ละด้านก่อน (ตำแหน่งที่ 1 และ 2) และทำสัญลักษณ์รูปวงแหวน 2 ตำแหน่งที่กลางท่อต่อไป (ตำแหน่งที่ 3 และ 4) ปัญหาการทำสัญลักษณ์ไม่ครบตามที่กำหนดได้จากการศึกษาจากข้อมูลข้อผิดพลาดในกระบวนการผลิตซึ่งมักจะตรวจพบที่ขั้นตอนสุดท้ายคือการตรวจสอบคุณภาพก่อนบรรจุลงกล่องเพื่อส่งไปยังลูกค้าจากการศึกษาพบว่า มีชิ้นงานที่ทำสัญลักษณ์ไม่ครบตามที่กำหนด พนักงานไม่ได้ทำสัญลักษณ์รูปหัวลูกศร หรือวงแหวน บนท่อตามตำแหน่งที่กำหนด เมื่อทำการวิเคราะห์ลำดับขั้นตอนการทำงานของพนักงานในกระบวนการผลิต และ การวิเคราะห์การสูญเสีย สามารถสรุปได้ดังนี้

- ทำสัญลักษณ์ไม่ครบตามที่กำหนดเท่ากับ 30 ppm ต่อปี
- ค่าใช้จ่ายของการแก้ไขงาน
- ข้อผิดพลาดจะตรวจพบที่ขั้นตอนสุดท้ายก่อนบรรจุลงกล่องเพื่อส่งออก
- พนักงานต้องตรวจสอบชิ้นงานด้วยและใช้เวลา 2 วินาทีต่อชิ้น
- การตรวจวัดต้องใช้ 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนสุดท้ายและสรุปตรวจระหว่างการทำสัญลักษณ์บนท่อ



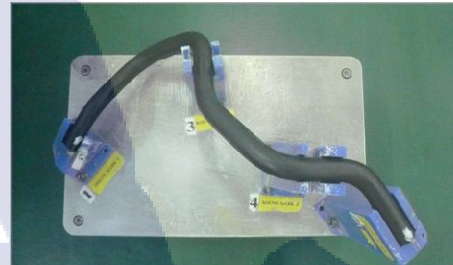
รูปที่ I ตัวอย่างท่อไฮโดรลิกและตำแหน่งที่ทำสัญลักษณ์



รูปที่ II ท่อไฮโดรลิกที่ทำสัญลักษณ์ไม่ครบ

ข้อผิดพลาดในกระบวนการทำสัญลักษณ์นี้ที่ฝ่ายควบคุมคุณภาพได้สุ่มตรวจระหว่างกระบวนการผลิตและที่ขั้นตอนสุดท้ายและเก็บบันทึกข้อมูลตลอดปีศึกษา พบว่า ข้อผิดพลาดรวมทั้งหมดที่เกิดขึ้นเนื่องจากไม่ได้ทำสัญลักษณ์วงแหวนและหัวลูกศรเท่ากับ 6 และ 3 ชิ้น ตามลำดับ ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นทุกเดือนไม่เท่ากัน บางเดือนเกิดข้อผิดพลาด บางเดือนไม่เกิดข้อผิดพลาดเลย ดังนั้นสาเหตุของปัญหาจึงไม่สามารถสรุปได้ เมื่อทำการวิเคราะห์ขั้นตอนการผลิตคาดว่าข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากพนักงานไม่ได้ทำสัญลักษณ์ตามลำดับขั้นตอนการทำงานตามที่กำหนด นอกจากนี้ขั้นตอนการบรรจุท่อไฮโดรลิกนั้น พนักงานที่บรรจุ

จะต้องตรวจสอบตำแหน่งที่ทำสัญลักษณ์ซึ่งอาจจะเกิดจากพนักงานไม่ได้มองชิ้นงานขณะตรวจสอบก่อนบรรจุลงกล่อง



รูปที่ III ตำแหน่งที่ทำสัญลักษณ์บนท่อ

การหาสาเหตุที่แท้จริงของการเกิดข้อผิดพลาดขึ้นในกระบวนการจึงเจาะจงลงไปขั้นตอนการทำสัญลักษณ์โดยกำหนดการทดลองขึ้นเพื่อตรวจสอบจำนวนข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการทำงานของพนักงานตามลำดับขั้นตอนที่กำหนด โดยกำหนดให้พนักงานทำสัญลักษณ์บนท่อตามลำดับแบบปกติคือ 1-2-3-4 และแบบอื่น ๆ คือ 1-2-4-3, 2-1-3-4 และ 2-1-4-3 โดยให้ทำการทดลองแต่ละแบบ 30 ชิ้น ผลการทดลองลำดับขั้นตอนการทำสัญลักษณ์แสดงดังตารางที่ I โดยให้พนักงานทำสัญลักษณ์หัวลูกศรทั้งสองตำแหน่งก่อน แล้วจึงทำสัญลักษณ์รูปวงแหวน ซึ่งตำแหน่งทั้งสองจะทำตามลำดับ และสลับตำแหน่งกัน พบว่า ถ้าพนักงานทำตามขั้นตอนปกติ (แบบที่ 1) จะไม่พบข้อผิดพลาดเกิดขึ้น แต่ถ้าพนักงานทำตามลำดับขั้นตอนการทำงาน เช่นแบบที่ 2, 3 และ 4 จะตรวจพบข้อผิดพลาด 1, 2 และ 1 ชิ้น ตามลำดับ ผลการทดลองนี้สรุปได้ว่าถ้าพนักงานไม่ทำสัญลักษณ์ตามลำดับตำแหน่งที่กำหนด พนักงานมีโอกาสทำข้ามขั้นตอนทั้งนี้ขึ้นอยู่กับทักษะและความชำนาญของพนักงาน

ตารางที่ I ผลการทดลองลำดับขั้นตอนการทำงานของพนักงานทำสัญลักษณ์

เงื่อนไขการทดลอง	ผลการทดลอง (30 ชิ้น)		ผลการทดลอง
	OK	NG	
ลำดับขั้นตอนการทำงาน			ปกติ
(1) 1-2-3-4 ปกติ	30	0	
(2) 1-2-4-3	29	1	ข้ามขั้นตอน 1 ครั้ง
(3) 2-1-3-4	28	2	ข้ามขั้นตอน 2 ครั้ง
(4) 2-1-4-3	29	1	ข้ามขั้นตอน 1 ครั้ง

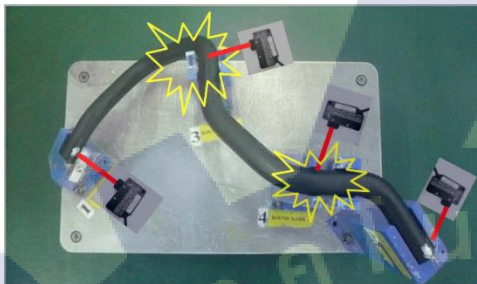
OK คือ ชิ้นงานดี NG คือ ชิ้นงานที่ทำสัญลักษณ์ไม่ครบ

III. การแก้ปัญหา

ปัญหาของกระบวนการทำสัญลักษณ์เกิดจากการไม่ทำตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ของพนักงาน การประยุกต์ใช้หลักคิดทางคุณภาพคือ Pokayoke [1] มากำหนดวิธีการป้องกันความผิดพลาดหลังผลอันเกิดจากการทำงานของพนักงาน เทคนิคที่จะตรวจวัดการทำสัญลักษณ์ได้มีการทดลองการใช้งานเบื้องต้นด้วยกัน 2 เทคนิคคือ การตรวจวัดด้วยเซนเซอร์วัดความเข้มสี และการตรวจวัดโดยการถ่ายภาพด้วยกล้องเว็บแคม

เทคนิคการตรวจวัดด้วยเซนเซอร์วัดความเข้มสีได้มีการทดลองใช้เซนเซอร์เพื่อตรวจวัดความเข้มสีที่ตำแหน่งทำสัญลักษณ์ ถ้าสีเข้มแสดงว่าไม่ได้ทำสัญลักษณ์ ระบบเตือนจะทำงานส่งเสียงเตือนดังขึ้น พนักงานต้อง

แก้ไขชิ้นงานใหม่อีกครั้ง ถ้าความเข้มต่ำแสดงว่าการทำสัญลักษณ์บนท่อระบบวัดจะนับจำนวนชิ้นงานและทำงานต่อไป รูปแบบการวัดแบบใช้เซนเซอร์ตรวจวัดความเข้มจะต้องติดตั้งเซนเซอร์บน JIG ที่ใช้วางท่อดังรูปที่ IV วิธีการนี้ต้องใช้เซนเซอร์ 1 ตัวต่อตำแหน่งวัด ราคาค่อนข้างสูง และการติดตั้งค่อนข้างยุ่งยาก



รูปที่ IV การตรวจวัดท่อโดยใช้เซนเซอร์วัดความเข้มสี

เทคนิคการตรวจวัดโดยการถ่ายภาพด้วยกล้องเว็บแคม จะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ กล้องเว็บแคม และ โปรแกรม LabVIEW เทคนิคนี้มีหลักการดังนี้ กล้องเว็บแคมจะใช้ถ่ายภาพตำแหน่งที่ต้องการตรวจวัด การทำสัญลักษณ์ซึ่งจะถูกติดตั้งไว้บน JIG สำหรับวางท่อพร้อมชุดยึดกล้องทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบของกล้องที่ใช้ กล้องเว็บแคมจะใช้ 2 ตัว กล้องแต่ละตัวจะใช้ตรวจสอบตำแหน่งทำสัญลักษณ์ได้ 2 ตำแหน่ง ตัวอย่างการใช้งานกล้องเว็บแคมเพื่อตรวจวัดชิ้นงานดังรูปที่ V กล้องเว็บแคมที่ใช้เป็นกล้องที่มีขายตามท้องตลาด ขึ้นอยู่กับรูปแบบของกล้องและจำนวน pixels ซึ่งเว็บแคมที่ใช้จะมีความละเอียดภาพประมาณ 0.3 Mpixels กล้องเว็บแคมที่ใช้และอุปกรณ์ยึดกล้องที่ติดตั้งบน JIG สำหรับวางท่อแสดงดังรูปที่ VI

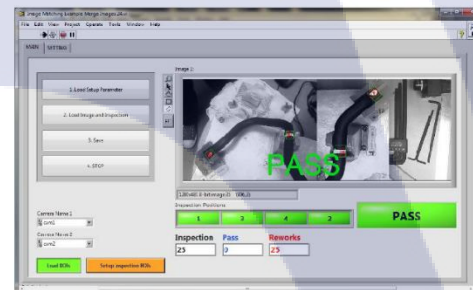
โปรแกรม LabVIEW ที่พัฒนาขึ้นนี้จะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ โปรแกรมส่วนแรกเป็นโปรแกรมเตรียมภาพอ้างอิงตามตำแหน่งบนท่อที่ต้องการตรวจสอบ และกำหนดขอบเขตหรือบริเวณที่ต้องการตรวจสอบ โปรแกรมส่วนที่ 2 เป็นโปรแกรมตรวจสอบตำแหน่งที่ทำสัญลักษณ์ ภาพที่ถ่ายได้จากกล้องเว็บแคมจะถูกนำไปประมวลผลร่วมกับภาพอ้างอิงตามตำแหน่งต่างๆ โปรแกรมจะนำภาพที่ถ่ายมาและภาพอ้างอิงแต่ละตำแหน่งมาเปรียบเทียบกันตามขอบเขตที่กำหนด โดยโปรแกรมจะให้คะแนนความเหมือนของภาพที่ตำแหน่งตรวจสอบแต่ละตำแหน่งตั้งแต่ 0 – 1000 คะแนน [2-4] ถ้าหากผลการเปรียบเทียบได้ 1000 คะแนน แสดงว่า ภาพทั้งสองเหมือนกัน ถ้าหากภาพที่ต้องการตรวจสอบมีรูปร่างเพี้ยนไปเช่น รูปบิดเบี้ยว หรือเอียงไป ผลการเปรียบเทียบจะมีคะแนนลดลงเช่น 500 หรือ 600 คะแนน เป็นต้น ดังนั้นการตรวจวัดตำแหน่งที่ต้องการจะต้องกำหนดคะแนนการเปรียบเทียบภาพที่แต่ละตำแหน่งที่ตรวจซึ่งคะแนนของแต่ละตำแหน่งอาจไม่เท่ากันได้ คะแนนการเปรียบเทียบภาพสามารถกำหนดได้ ขึ้นอยู่กับภาพ รูปร่าง และรายละเอียดของสัญลักษณ์ที่ต้องการตรวจจับ เทคนิคนี้มีความเหมาะสมกว่า เนื่องจากกล้องเว็บแคมที่ใช้หาได้ง่าย มีให้เลือกหลายแบบ และราคาไม่แพง ส่วนค่าใช้จ่ายสำหรับการทำชุดจับยึดกล้องบน JIG ไม่สูงนัก รวมทั้งติดตั้งง่าย



รูปที่ V การใช้กล้องเว็บแคมเพื่อตรวจวัดชิ้นงาน



รูปที่ VI เว็บแคมและชุดยึดกล้อง

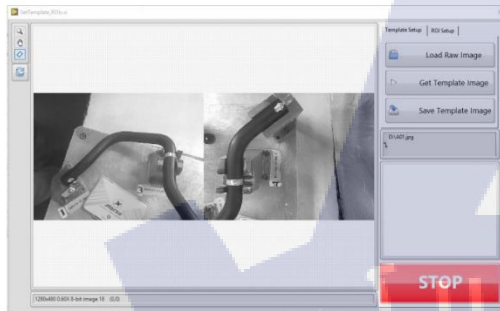


รูปที่ VII ตัวอย่างโปรแกรมตรวจวัดชิ้นงานแบบ 4 ตำแหน่ง

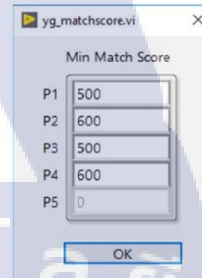
IV. การตรวจสอบด้วยการถ่ายภาพ

เทคนิคการตรวจวัดโดยการถ่ายภาพด้วยกล้องเว็บแคมได้นำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดกระบวนการทำสัญลักษณ์โดยใช้ในการตรวจวัดท่อไฮดรอลิกของระบบบังคับเคลื่อนซึ่งจะมีตำแหน่งที่ตรวจวัด 4 ตำแหน่ง เป็นสัญลักษณ์รูปลูกศรที่ปลายท่อ และรูปร่างแหวน อย่างละ 2 ตำแหน่ง ดังรูปที่ I กล้องเว็บแคมจะถูกติดตั้งกับชุดยึดกล้องที่ยึดอยู่บน JIG วางท่อดังรูปที่ 6 กล้องที่ใช้เป็นกล้องที่มีขายตามท้องตลาด ขึ้นอยู่กับจำนวน pixels ซึ่งเว็บแคมที่ใช้จะมีความละเอียดภาพประมาณ 0.3 Mpixels ภาพที่แสดงผลจะมีขนาด 640 X 480 pixels ต่อกล้อง ภาพของแต่ละกล้องจะนำมารวมกันเป็นภาพที่มีขนาด 1280 X 480 pixels ดังตัวอย่าง

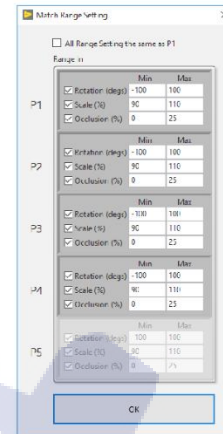
โปรแกรมการใช้งานดังรูปที่ VII ทั้งนี้สามารถเลือกใช้กล้องเว็บแคมที่มีความละเอียดภาพสูงกว่านี้ได้ซึ่งจะทำให้ระยะเวลาการประมวลผลเพิ่มขึ้นตามขนาดของภาพ



รูปที่ VIII ตัวอย่างโปรแกรมตรวจวัดชิ้นงานแบบ 5 ตำแหน่งที่ชิ้นงานทำสัญลักษณ์ครบ



(a) คะแนนเปรียบเทียบ



(b) พารามิเตอร์ของภาพ

รูปที่ X หนึ่งตำแหน่งกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของโปรแกรมตรวจสอบชิ้นงาน



รูปที่ IX ตัวอย่างโปรแกรมตรวจวัดชิ้นงานแบบ 5 ตำแหน่งที่ชิ้นงานทำสัญลักษณ์ครบ



รูปที่ XI ตัวอย่างโปรแกรมตรวจวัดชิ้นงานแบบ 5 ตำแหน่งที่ชิ้นงานทำสัญลักษณ์ไม่ครบ

โปรแกรมตรวจสอบการทำสัญลักษณ์บนท่อที่พัฒนาขึ้นรุ่นแรกสามารถวัดได้ 4 ตำแหน่งดังรูปที่ 7 ซึ่งจะมีปุ่มควบคุมต่าง ๆ บนหน้าต่างของโปรแกรมค่อนข้างมาก ซึ่งถ้าพนักงานที่ใช้งานอาจเผลอไปปรับเปลี่ยนการตั้งค่าซึ่งอาจทำให้โปรแกรมทำงานผิดพลาดได้ ดังนั้นโปรแกรมจึงได้ถูกพัฒนาและปรับเปลี่ยนหน้าต่างที่ใช้สำหรับตั้งค่าเท่าที่จำเป็น ตัวอย่างโปรแกรมที่ปรับปรุงใหม่ในรุ่นถัดมามีหน้าต่างของโปรแกรมส่วนแรกการเตรียมภาพอ้างอิงและตำแหน่งที่ตรวจสอบดังรูปที่ VIII ส่วนของโปรแกรมตรวจสอบแสดงดังรูปที่ IX ซึ่งสามารถตรวจสอบการทำสัญลักษณ์ได้ 5 ตำแหน่ง และโปรแกรมตำแหน่งที่ตรวจสอบแต่ละตำแหน่งจะตรวจสอบเฉพาะบริเวณที่กำหนดไว้บนกรอบสีเขียว โปรแกรมจะทำงานโดยใช้เวลาเริ่มต้นที่กำหนดดังรูปที่ X(a) และ X(b) ซึ่งประกอบด้วยคะแนนการเปรียบเทียบภาพในแต่ละตำแหน่ง และค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของภาพเช่น การหมุนภาพ ขนาดของภาพ และการทับซ้อนกันของภาพ โปรแกรมจะทำการตรวจสอบก็ต่อเมื่อมีการกดปุ่ม ESC ที่คีย์บอร์ด หรือ ใช้เมาส์คลิกปุ่มกดที่พื้น

เมื่อโปรแกรมทำการเปรียบเทียบภาพที่ตรวจวัดกับภาพอ้างอิงของแต่ละตำแหน่ง หากผลการเปรียบเทียบได้คะแนนมากกว่าค่าที่กำหนดดังรูป 10(a) ผลการเปรียบเทียบจะแสดงสัญลักษณ์และรายละเอียดเป็นตัวอักษรสีแดงพร้อมทั้งจะมีตัวอักษรคำว่า "PASS" ปรากฏขึ้นดังรูปที่ 9 แต่ถ้าคะแนนเปรียบเทียบต่ำกว่าค่าที่กำหนดจะไม่ปรากฏผลการเปรียบเทียบเป็นสัญลักษณ์และอักษรสีแดงและจะแสดงผลคำว่า "FAIL" และจะมีเสียงดังเตือนขึ้นด้วยดังรูปที่ XI

การตรวจสอบการทำสัญลักษณ์ด้วยภาพได้นำไปใช้งานในกระบวนการทำสัญลักษณ์ ทำให้พนักงานมีระบบตรวจวัดและระบบเตือนทำให้สามารถแก้ไขข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นได้ทันที ข้อดีที่ได้จากการปรับปรุงกระบวนการทำสัญลักษณ์ในช่วงที่ทดสอบระบบนี้สรุปได้ดังนี้

- ไม่ตรวจพบของเสียในกระบวนการผลิต (0 ppm)
- ไม่มีค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการแก้ไขงาน
- ไม่จำเป็นต้องสุ่มตรวจในกระบวนการผลิต
- ลดเวลาในการตรวจเช็คของพนักงานลง 2 วินาทีต่อชิ้น
- ลดกำลังคนที่ใช้สุ่มตรวจในกระบวนการผลิตได้ 0.5 คน

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้ยังไม่สามารถตรวจสอบได้ว่าสัญลักษณ์ หัวลูกศรได้ทำสัญลักษณ์กลับทิศทางหรือไม่ เนื่องจากภาพที่ใช้เป็นภาพอ้างอิงมีขนาดเล็กเกินไป และภาพที่ตำแหน่งที่ 1 หัวลูกศรอยู่ในลักษณะเอียงทำให้ภาพลูกศรไม่ชัดเจนนัก ดังนั้นการตรวจสอบการทำสัญลักษณ์ ยังจำเป็นต้องพัฒนาและปรับปรุงโปรแกรมให้สามารถตรวจสอบการกลับทิศทางของหัวลูกศร เพื่อให้โปรแกรมตรวจสอบมีความสามารถและความถูกต้องเพิ่มขึ้นด้วย

V. สรุป

การใช้หลักคิดทางคุณภาพ Pokayoke มาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตร่วมกับการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ดังเช่น การตรวจสอบชิ้นงานด้วยการถ่ายภาพ ทำให้สามารถแก้ไขปัญหาเรื่องการทำสัญลักษณ์บนท่อจากกระบวนการผลิตได้อย่างมีระบบ จากการปรับปรุงกระบวนการทำสัญลักษณ์โดยใช้เทคนิคการตรวจวัดโดยภาพถ่ายด้วยกล้องเว็บแคมโดยใช้ร่วมกับโปรแกรม LabVIEW ซึ่งสามารถตรวจสอบว่าได้ทำหรือไม่ได้ทำสัญลักษณ์ไว้บนท่อ ยังสามารถบอกทิศทางของสัญลักษณ์ได้เช่น หัวลูกศร โปรแกรมที่พัฒนามีสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้จริงสามารถลดการผิดพลาดของพนักงานที่เกิดขึ้น ค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ไม่แพง ส่งผลทำให้ภาพลักษณ์ของบริษัทที่ผลิตชิ้นงานที่มีคุณภาพและน่าเชื่อถือมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสุรพล อ่วมอารี ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับกระบวนการผลิต ขั้นตอนการทำงาน และการทดสอบโปรแกรม และขอขอบคุณทางสถาบันเทคโนโลยีไทย - ญี่ปุ่นที่สนับสนุนทุนวิจัยเพื่อพัฒนาระบบการตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Shimbun, N. K. and Factory Magazine, Poka-yoke: Improving product quality by preventing defects, Productivity press, 1988.
- [2] Relf, C. G., Image acquisition and processing with LabVIEW, CRC, 2003.
- [3] National Instruments, NI Vision – NI Vision Concept Manual, National Instruments Corporation, 2008.
- [4] Kwon, K. S. and Ready, S., Practical Guide to Machine Vision Software: An Introduction with LabVIEW, Wiley, 2015.