

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การพัฒนาเครื่องต้นแบบเพื่อบันทึกข้อมูลการสอบเทียบแรงโดยใช้เทคโนโลยีด้านภาพถ่าย

Development of a prototype for recording of force calibration data using machine vision technology

ผู้วิจัย

ดร. สุเมธ เหมะวัฒนะชัย
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ชื่อเรื่อง

การพัฒนาเครื่องต้นแบบเพื่อบันทึกข้อมูลการสอบเทียบแรงโดยใช้เทคโนโลยีด้านภาพถ่าย

Development of a prototype for recording of force calibration data using machine vision technology

ผู้วิจัย

ดร. สุเมธ เหมะวัฒนะชัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ระยะเวลาดำเนินงานโครงการ

(1 กันยายน 2557 – 29 กุมภาพันธ์ 2559)

(.....)

ดร. สุเมธ เหมะวัฒนะชัย

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก
ศูนย์ประสานงานนักเรียนทุนรัฐบาลทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

โครงการวิจัยนี้ได้รับความช่วยเหลือในด้านการทดลองจาก

- 1.ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
- 2.สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
- 3.ศูนย์ทดสอบและมาตรวิทยา สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
นิคมอุตสาหกรรมบางปู

ปี พ.ศ. ที่ได้รับทุน 2557

บทคัดย่อ

ในงานด้านการวัดและทดสอบแรงนั้น เครื่องวัดแรงเป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญและถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุในหลายลักษณะงานตั้งแต่การทดสอบแรงขนาดเล็กเช่นผลิตภัณฑ์อาหารไปจนถึงแรงขนาดใหญ่เช่นการทดสอบเหล็กที่ใช้ในการก่อสร้าง โดยทั่วไปนั้นการสอบเทียบเครื่องวัดแรงเพื่อนำไปใช้เป็นเครื่องวัดแรงมาตรฐาน จะอ้างอิงวิธีการตามมาตรฐาน ISO376 ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบตามมาตรฐานนี้ใช้เวลาบันทึกค่าประมาณ 3-5 ชั่วโมง โดยในระหว่างทำการสอบเทียบโดยทั่วไปนั้น ผู้สอบเทียบจะอ่านค่าที่ได้จากจอแสดงผลของเครื่องมือและจดค่าลงในแบบฟอร์มกระดาษ จากนั้นเมื่อสอบเทียบเสร็จแล้วจะต้องนำค่าที่จด ไปพิมพ์ลงในคอมพิวเตอร์เพื่อทำการคำนวณ ซึ่งจากประสบการณ์พบว่ามีความผิดพลาดอยู่มากทั้งจากการจดค่าและการพิมพ์ข้อมูล

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเครื่องต้นแบบเพื่อการอ่านข้อมูลและบันทึกผลลงในคอมพิวเตอร์แบบอัตโนมัติโดยใช้เทคโนโลยีด้านภาพถ่าย (Machine vision technology) โดยการใช้ระบบซึ่งประกอบด้วยคอมพิวเตอร์ ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น และกล้องมาใช้ในการจับภาพจากหน้าจอของเครื่องวัดแรงระหว่างการสอบเทียบ จากนั้นภาพที่จับมาได้จะถูกนำไปประมวลผลโดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อแปลงจากข้อมูลภาพเป็นข้อมูลด้านตัวเลขซึ่งแสดงผลการวัดโดยใช้เทคนิคการรับรู้ตัวอักษร (OCR) จากนั้นข้อมูลตัวเลขจะถูกบันทึกลงในโปรแกรมคำนวณการสอบเทียบโดยอัตโนมัติ ด้วยวิธีการเก็บข้อมูลโดยใช้เทคโนโลยีด้านภาพถ่ายนี้ จะทำให้ตัดความผิดพลาดจากการบันทึกของคนได้โดยสิ้นเชิง ซึ่งระบบใหม่นี้จะช่วยเพิ่มคุณภาพในการสอบเทียบแรงอีกทั้งยังสามารถต่อยอดไปใช้ในการทดสอบแรงอื่นๆได้

ในงานวิจัยนี้มีการทดลองเพื่อประเมินสมรรถนะของระบบที่พัฒนาขึ้น โดยมีการทดลองหลักอยู่สามแบบคือ แบบแรกเป็นการทดสอบความถูกต้องของระบบที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องแสดงผลหลากหลายรูปแบบ ส่วนที่สองเป็นการทดสอบความทนทานของระบบภายใต้สภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนไปเช่นปัจจัยด้านความสว่างของห้อง เป็นต้น และส่วนที่สามเป็นการนำระบบที่พัฒนาขึ้นไปใช้บันทึกข้อมูลการสอบเทียบตามมาตรฐาน ISO376 เพื่อประเมินศักยภาพในการนำไปใช้ในการสอบเทียบจริง

จากผลการทดลองพบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้ง่ายต่อการใช้งานและสามารถใช้ในการอ่านและแปลผลข้อมูลจากจอแสดงผลแบบดิจิทัลได้ทุกรูปแบบที่ทำการทดลอง โดยระบบนี้ยังมีความทนทานต่อสภาวะแวดล้อมแบบต่างๆทั่วไปที่พบในสภาวะการทำงานได้ดี เช่นสามารถใช้ได้ในห้องที่ไม่ค่อยสว่าง ไปจนถึงห้องที่มีความสว่างมากได้ โดยผลการทดลองใช้บันทึกผลการสอบเทียบตามมาตรฐาน ISO376 พบว่าให้ผลที่ถูกต้อง 100% ทั้งการบันทึกและการคำนวณผล ซึ่งสอดคล้องกับการบันทึกผลด้วยคน บ่งชี้ว่า ระบบการบันทึกข้อมูลด้วยเทคโนโลยีภาพนี้มีประสิทธิภาพดีเพียงพอต่อการนำไปใช้ในการเก็บข้อมูลสอบเทียบจริง

Abstract

In the field of force measurement, load cell is an instrument for measuring force in many material testing applications, ranging from small force as testing food products to large force as testing properties of steel for construction. Generally, the calibrations of a reference load cells are carried out according to standard procedure such as ISO 376. The calibration-data-collection period of this standard take about 3 to 5 hours. During the calibration period, the operator needs to write down the reading results of instrument into the calibration sheet and then input the results into calibration file for calculation. From past experiences, there were many mistakes from this method of recording of the calibration data.

The purpose of this research is to develop a prototype system for automatic recording of calibration data using machine vision technology. Real time camera and computer system is used to capture the image of the reading from the instruments during calibration. The reading image will then be translated to number using optical character recognition (OCR) technique and saved to the calibration file. With this machine vision based method of recording of the calibration data, the human error of recording will be eliminated. This can improve quality of force calibration work and also other force measurement applications in Thailand.

There were 3 main categories of experiments in this study to verify the performance of the system when calibrating a load cell. First, verifying the performance of the character recognition software by reading measurement data from various models of indicator devices connected to load cells. Second, testing the versatility of the system when used under various conditions such as different room illuminance or different distances, and, third, verify the performance of the system when used in full calibration experiments in accordance with ISO 376.

The experimental results reveal that the system is easy to operate and accurately reads data from all tested models of force measuring instruments. The system was also versatile enough to be used under various conditions. The full calibration experiments on

the force proving instrument gave 100% accurate results in recording and processing. This machine vision system can be efficiently used for recording and processing of force calibration data to assure the quality of the calibration process.

Keywords: Force Measurement; Calibration; Machine vision; OCR; ISO 376, การสอบเทียบแรง, การทดสอบแรง

สารบัญเรื่อง

เรื่อง	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	3
บทคัดย่อ	4
Abstract	6
1. บทนำ (Introduction)	12
2. วัตถุประสงค์ของโครงการ (Objectives)	19
3. การทบทวนวรรณกรรม (Literature Review)	19
4. การออกแบบการวิจัย (Research Design)	21
5. ขอบเขตการวิจัย (Scope of Research)	22
6. ระเบียบวิธีการวิจัย (Research Methodology)	22
6.1 การสำรวจเครื่องแสดงผลแรงที่มีใช้ในประเทศ	22
6.2 ตรวจสอบสเปคของเครื่องแสดงผลแบบต่างๆเพื่อใช้ในการออกแบบระบบจับภาพ	23
6.3 การพัฒนาระบบบันทึกและประมวลผลภาพ	26
6.4 พัฒนาโปรแกรมเพื่อการประมวลผลตัวเลขจากภาพถ่ายหน้าจอแสดงผล	26
6.5 การทดลองเก็บข้อมูลจากหน้าจอแสดงผลของเครื่องวัดแบบต่างๆ	29
6.6 การศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อความถูกต้อง	29
6.7 การทดลองบันทึกผลสอบเทียบตามมาตรฐาน ISO376	29
7. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์	30
7.1 การสำรวจโมเดลเครื่องแสดงผลแรงที่มีใช้ในประเทศ	30
7.2 การทดลองเก็บข้อมูลจากหน้าจอแสดงผลของเครื่องวัดแบบต่างๆ	35
7.3 การศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อความถูกต้อง	50
7.4 การทดลองบันทึกผลสอบเทียบตามมาตรฐาน ISO376	52
8. สรุปผล	60
9. ปัญหาและอุปสรรค	61
บรรณานุกรม	62
ภาคผนวก (ประวัติผู้วิจัย)	64

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1. ขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องวัดแรงตามมาตรฐาน ISO 376:2011(e)	12
2. Deadweight force standard machine พิกัด 1.5 kN	14
3. Lever amplification machine	15
4. Hydraulic amplification machine	16
5. Force comparator machine	17
6. HBM-DMP40	23
7. HBM-MGCplus	24
8. Daytronic-3270F	24
9. PT200M	25
10. GTM-VD200k	25
11. ส่วนประกอบระบบที่พัฒนาขึ้น	26
12. Image analysis process	27
13. ตัวอย่าง image processing สำหรับการอ่านค่าจากเครื่อง DMP-40	28
14. ตัวอย่าง feature analysis using OCR technique	28
15. หน้าจอแสดงผลเครื่องวัดแรงที่ทำการทดสอบ	33
16. เครื่องวัดอื่นๆที่ได้ทำการทดลอง	34
17. การทดลองเก็บข้อมูลด้วยระบบที่พัฒนาขึ้น	36
18. ผลการทดลองเก็บข้อมูลจากเครื่อง DMP 40	38
19. ผลการทดลองเก็บข้อมูลจากเครื่อง HBM-DK-38	39
20. ผลการทดลองเก็บข้อมูลจากเครื่อง Interface-9480	40
21. ผลการทดลองเก็บข้อมูลจากเครื่อง HBM-MGCplus	41
22. ผลการทดลองเก็บข้อมูลจากเครื่อง GTM-VD200k	42

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
23. ผลการทดลองเก็บข้อมูลจากเครื่อง HBM-Scout55	43
24. ผลการทดลองเก็บข้อมูลจากเครื่อง UTM รุ่น Shimadzu-AG-X	44
25. ผลการทดลองเก็บข้อมูลจากเครื่อง UTM รุ่น Hounsfield H50KS	45
26. ผลการทดลองเก็บข้อมูลจากเครื่องวัดสเตรน NI-9237 ผ่านจอคอมพิวเตอร์	46
27. ผลการทดลองเก็บข้อมูลจากเครื่องวัดอุณหภูมิความชื้น Almemo-2390-8	47
28. ผลการทดลองเก็บข้อมูลจากมัลติมิเตอร์รุ่น Keithley-2000	48
29. แสดงตัวอย่างผลการทดลองเก็บข้อมูลจาก Light meter รุ่น TESTO-545	49
30. การสอบเทียบโหลดเซลล์ด้วยเครื่อง DWM และจอแสดงผลโมเดล DMP40	52
31. Linearity deviation of load cell calculated from manually recording data on DMP40	55
32. Linearity deviation of load cell calculated from MV recording data on DMP40	56
33. Calibration of load cell with indicator Scout55 using Lever machine (LM)	56
34. Linearity deviation of load cell calculated from manually recording data on Scout55	59
35. Linearity deviation of load cell calculated from MV recording data on Scout55	60

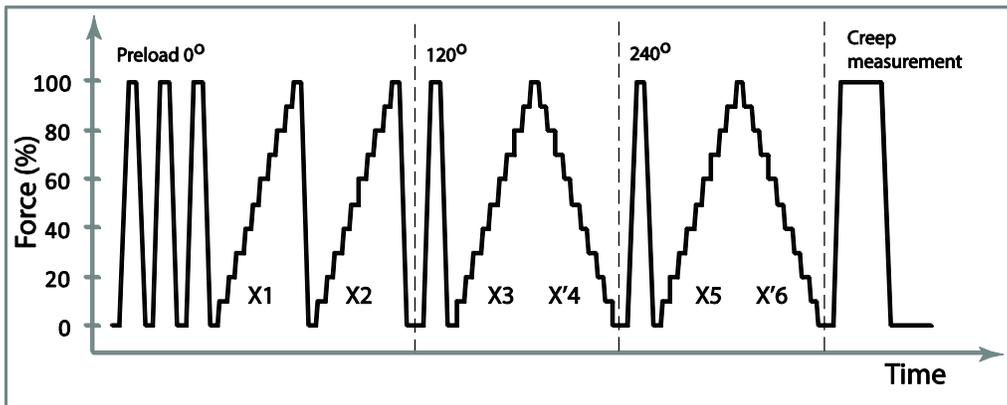
สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. ข้อมูลโมเดลเครื่องแสดงผลบางส่วนที่ได้สอบเทียบโดยหน่วยงานภายในชมรมมาตรวิทยาแรงสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ในปี 2013 และ 2014	30
2. การตั้งค่าพารามิเตอร์สำหรับโปรแกรมเพื่อการแปรผลจากเครื่องโมเดลต่างๆ	37
3. การทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้นภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ต่างกัน	50
4. การบันทึกค่าด้วยคนในการสอบเทียบด้วย DWM เครื่องแสดงผลรุ่น DMP40	53
5. การบันทึกค่าด้วยระบบ MV ในการสอบเทียบด้วย DWM เครื่องแสดงผลรุ่น DMP40	54
6. การบันทึกค่าด้วยคนในการสอบเทียบด้วย LM เครื่องแสดงผลรุ่น Scout55	57
7. การบันทึกค่าด้วยระบบ MV ในการสอบเทียบด้วย LM เครื่องแสดงผลรุ่น Scout55	58

1. บทนำ (Introduction)

ความสามารถด้านการวัดและระบบมาตรวิทยาเป็นปัจจัยหนึ่ง ที่บ่งบอกถึงคุณภาพของสินค้าของแต่ละประเทศ เนื่องจากการผลิตสินค้าให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากลจำเป็นต้องผ่านการรับรองระบบคุณภาพ ซึ่งทำให้มีความจำเป็นที่ต้องสอบเทียบเครื่องมือวัดต่างๆที่ใช้ในกระบวนการผลิต ทั้งนี้เพื่อให้มีความเชื่อมั่นว่าผลที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือต่างๆนั้นมีความถูกต้องและสามารถสอบกลับได้สู่นิวาสากล (SI unit)

ในด้านเกี่ยวกับการวัดและทดสอบแรงนั้น เครื่องวัดแรง (load cell) เป็นเครื่องมือที่มีการใช้งานอย่างมากในหลายอุตสาหกรรม ซึ่งการสอบเทียบเครื่องวัดแรงโดยทั่วไปจะทำตามมาตรฐาน ISO376^[1] โดยขั้นตอนการสอบเทียบตามมาตรฐานนี้แสดงในรูปที่ 1.



รูปที่ 1. ขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องวัดแรงตามมาตรฐาน ISO 376:2011(e)

จากรูปที่ 1 จะเห็นได้ว่าการสอบเทียบนั้นประกอบด้วย การวัดหลายขั้นตอน โดยในการวัดในซีรีส์ X_1 และ X_2 เป็นการวัดในช่วงการเพิ่มขึ้นแรงแบบขาขึ้น ที่มุม 0 องศา ในการวัด X_3 และ X'_4 นั้นเป็นการวัดในช่วงขาขึ้นและขาลงที่มุม 120 องศา และในการวัด X_5 และ X'_6 เป็นการวัดในช่วงขาขึ้นและขาลงที่มุม 240 องศา โดยทั่วไประยะเวลาที่ใช้ในการสอบเทียบจะประมาณ 3 ถึง 5 ชั่วโมง ขึ้นกับเครื่องที่ใช้ในการสอบเทียบและเครื่องมือวัดแรงที่ถูกสอบเทียบ โดยในทางปฏิบัติ การบันทึกผลการสอบเทียบที่ได้ในแต่ละค่านั้น ทางผู้สอบเทียบจะทำการจดบันทึกค่าลงในแบบฟอร์ม และหลังจากทำการสอบเทียบเสร็จแล้ว ผู้สอบเทียบจะต้องนำผลที่จดมาพิมพ์ลงในคอมพิวเตอร์ เพื่อการคำนวณและออกใบรับรองผลการสอบเทียบ ซึ่งจากประสบการณ์พบว่า มีความผิดพลาดมากทั้งจากการจดค่าลงในแบบฟอร์มและการพิมพ์ลงใน

คอมพิวเตอร์ ซึ่งบางครั้งต้องทำการสอบเทียบทั้งกระบวนการใหม่ เพื่อให้แน่ใจว่าผลที่ได้มีความถูกต้อง

นอกจากขนาดระยะเวลาที่ใช้การสอบเทียบ รวมทั้งปริมาณข้อมูลจะเป็นสาเหตุให้อาจเกิดความผิดพลาดในการบันทึกแล้ว ปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลในการบันทึกเกิดจากลักษณะเครื่องมือที่ใช้ในการสอบเทียบ ซึ่งมีผลต่อความเสถียรของค่าที่แสดงที่หน้าจอเครื่องวัดแรง โดยหากเครื่องที่ใช้สอบเทียบมีการให้แรงที่ไม่คงที่จะทำให้ค่าที่แสดงที่หน้าจอเกิดการเปลี่ยนแปลงกลับไปมาทำให้อ่านค่าได้ยาก โดยจากคู่มือสำหรับการประเมินค่าความไม่แน่นอนจากการวัดแรง^[2] เมื่อแยกแยะตามชนิดของการสร้างแรงแล้ว เครื่องที่ใช้สำหรับสอบเทียบเครื่องวัดแรงแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด ได้แก่ 1.เครื่องที่สร้างแรงจากก้อนน้ำหนักโดยตรง (Deadweight force standard machine) 2.เครื่องที่สร้างแรงจากก้อนน้ำหนักแล้วขยายขนาดด้วยระบบคาน (Lever force amplification machine) 3.เครื่องที่สร้างแรงจากก้อนน้ำหนักแล้วขยายขนาดด้วยระบบไฮดรอลิก (Hydraulic amplification machine) และ 4.เครื่องที่ใช้การเปรียบเทียบค่ากับเครื่องวัดแรงมาตรฐาน (Force comparator machine) โดยเครื่องแต่ละแบบจะมีพฤติกรรมการสร้างแรงและระยะเวลาในการเข้าถึงจุดสมดุลที่ต่างกันซึ่งระหว่างที่ระบบวัดยังไม่เข้าสู่จุดสมดุล ค่าที่แสดงที่หน้าจอแสดงผลจะมีการเปลี่ยนแปลงกลับไปมาทำให้อ่านค่าที่ทำการสอบเทียบจะอ่านและบันทึกผิดพลาดได้มีมากขึ้น

รูปที่ 2 แสดงการทำงานของเครื่อง Deadweight force standard machine (DWM) ซึ่งแรงที่ใช้ในการสอบเทียบเครื่องวัดแรงจะถูกสร้างจากก้อนน้ำหนักโดยมีขนาดแรงเท่ากับ มวลของก้อนน้ำหนัก (m) คูณด้วยค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่จุดนั้น (g) ซึ่งเมื่อถ่ายแรงให้กับเครื่องวัดแรงแล้วค่าที่ได้จะถูกแสดงในหน้าจอแสดงผล (Indicator) ซึ่งต่อกับเครื่องวัดแรง โดยเครื่องสอบเทียบแรงแบบนี้เป็น เครื่องที่มีค่าความไม่แน่นอนน้อย (โดยทั่วไปไม่เกิน 100 ppm) ใช้งานง่าย และเป็นมาตรฐานอ้างอิงด้านแรงปฐมภูมิในระดับนานาชาติ แต่ก็มีข้อจำกัดคือหากต้องการสอบเทียบแรงที่มีขนาดใหญ่ ก็ต้องใช้ก้อนน้ำหนักซึ่งทำจากสแตนเลสขนาดใหญ่มากด้วย ทำให้ต้นทุนสูง โดยระบบแรงที่สร้างจากเครื่อง DWM จะเข้าสู่สมดุลได้เร็ว ทำให้ค่าที่แสดงที่หน้าจอแสดงผลค่อนข้างนิ่งทำให้การอ่านและจดบันทึกทำได้ไม่ยากนัก



รูปที่ 2 Deadweight force standard machine พิกัด 1.5 kN พร้อมด้วยเครื่องวัดแรง
ณ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (National Institute of Metrology Thailand - NIMT)

รูปที่ 3 แสดงภาพของเครื่อง Lever amplification machine (LM) แรงที่ได้จากเครื่องนี้
จะถูกสร้างจากมวลของก้อนน้ำหนัก (m) คูณด้วยค่าความเร่งโน้มถ่วง (g) แล้วถูกขยาย (100 –
200 เท่า) ด้วยระบบคาน ทำให้เครื่องชนิดนี้ใช้ก้อนน้ำหนักขนาดเล็กกว่าแบบแรก แต่ก็มีค่า
ความไม่แน่นอนมากกว่าแบบแรก (โดยทั่วไปไม่เกิน 200 ppm) เครื่องประเภทนี้ใช้งานยากกว่า
แบบแรกและมีปัจจัยของแรงเนื่องจากการแกว่งของก้อนน้ำหนักซึ่งถูกขยายด้วย ทำให้ต้องรอ
เวลานานกว่าระบบจะนิ่งเพื่อให้อ่านค่าแรงได้ ทำให้ในการอ่านและบันทึกค่ามีโอกาสผิดพลาด
ได้มาก



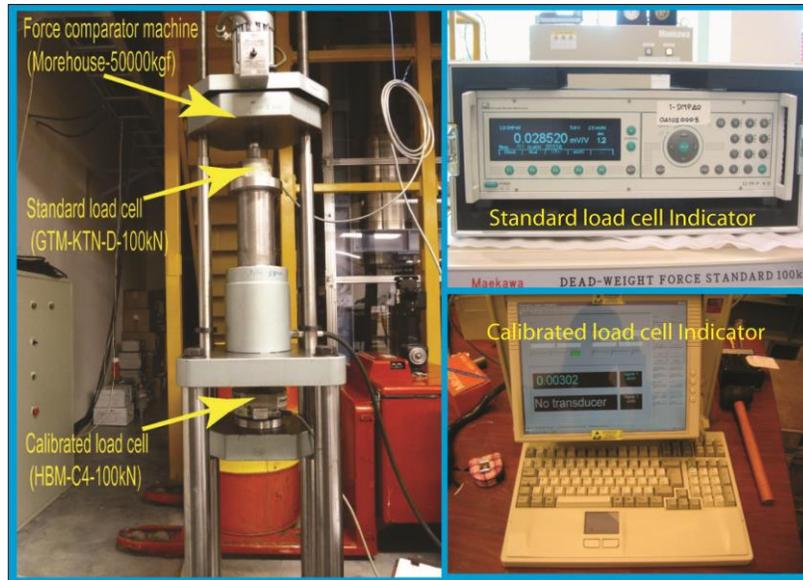
รูปที่ 3 Lever amplification machine (www.ume.tubitak.gov.tr)

รูปที่ 4 แสดงภาพของเครื่อง Hydraulic amplification machine (HM) แรงที่ได้จากเครื่องนี้จะถูกสร้างจากมวลของก้อนน้ำหนัก (m) คูณด้วยค่าความเร่งโน้มถ่วง (g) แล้วถูกขยาย (100 – 200 เท่า) ด้วยระบบไฮดรอลิก ทำให้เครื่องชนิดนี้ใช้ก้อนน้ำหนักขนาดเล็กกว่าแบบแรก แต่ก็มีค่าความไม่แน่นอนมากกว่าแบบแรก (โดยทั่วไปไม่เกิน 200 ppm) เครื่องประเภทนี้ใช้งานยากกว่าแบบแรก เนื่องจากต้องควบคุมการหมุนของกระบอกลูกสูบในการลดแรงเสียดทาน และต้องมีระบบควบคุมการอัดน้ำมันให้ความดันที่เหมาะสม โดยค่าที่แสดงที่หน้าจอแสดงผลก็จะไม่ค่อยนิ่งทำให้ยากต่อการบันทึกค่า



รูปที่ 4 Hydraulic amplification machine (www.ptb.de)

รูปที่ 5 แสดงภาพของเครื่อง Force comparator machine (FCM) แรงที่ได้จากเครื่องนี้ จะถูกสร้างจากระบบจ่ายแรง (ซึ่งอาจใช้ระบบไฮดรอลิก หรือ สกรูขับ) ในการถ่ายแรงให้กับ เครื่องวัดแรงที่เป็นมาตรฐาน และเครื่องวัดแรงที่ถูกสอบเทียบในเวลาเดียวกัน จากนั้นทำการ อ่านค่าแรงที่วัดได้มาเทียบกับค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดแรงมาตรฐาน เครื่องชนิดนี้มีข้อดีคือมี ขนาดเล็กใช้งบประมาณน้อย แต่ค่าความไม่แน่นอนก็จะมากกว่าเครื่องประเภทอื่น (โดยทั่วไป ไม่เกิน 500 ppm) โดยในการอ่านและจดบันทึกค่าทำได้ยากมากกว่าแบบอื่นๆ มาก เนื่องจากผู้ ทดลองต้องอ่านและจดค่าจากหน้าจอแสดงผลทั้งจากเครื่องมาตรฐานและจากเครื่องที่ต้องการ สอบเทียบในเวลาเดียวกัน ทำให้มีโอกาสเกิดความผิดพลาดในการบันทึกค่าอย่างมาก



รูปที่ 5 Force comparator machine with 2 load cells and 2 indicators at NIMT

จากการสำรวจวิธีการที่ใช้ในการสอบเทียบเครื่องวัดแรงจากหน่วยงานที่ให้บริการสอบเทียบด้านแรงในประเทศไทยพบว่า การบันทึกข้อมูลการสอบเทียบแรงนั้น ส่วนใหญ่ใช้การอ่านและจดบันทึกด้วยคน (manually recording) โดยการบันทึกข้อมูลด้วยคนนั้นมีความผิดพลาดอยู่บ่อยครั้ง บางครั้งหากไม่แน่ใจในผลที่บันทึก จะต้องทำการสอบเทียบใหม่เพื่อให้มั่นใจในผลที่รายงาน โดยสรุปแล้วปัญหาที่เกิดจากการบันทึกด้วยคนนั้นมีดังนี้

1. ในการสอบเทียบตามมาตรฐาน ISO376 นั้น ใช้เวลา 3-5 ชั่วโมง และมีการบันทึกค่าที่ได้จากการสอบเทียบประมาณ 90 ค่า ดังนั้นการบันทึกข้อมูลด้วยคนนั้นมีโอกาสผิดพลาดได้มากโดยเฉพาะในการสอบเทียบด้วยเครื่อง Force comparator machine ยิ่งผิดพลาดมากเนื่องจากผู้สอบเทียบต้องบันทึกข้อมูลจากเครื่องวัดแรงทั้งสองเครื่องพร้อมๆกัน
2. ในการสอบเทียบด้วยเครื่อง DWM LM และ HM นั้น จะพบว่าแรงที่อ่านได้จะมีการแกว่ง (Oscillation) ทั้งนี้เนื่องจากการแกว่งของก้อนน้ำหนัก ซึ่งรูปแบบและขนาดของการแกว่งซึ่งบ่งชี้ถึงคุณภาพของการให้แรง นี้ไม่สามารถบันทึกได้ด้วยวิธีการจดด้วยคน
3. ในกรณีที่มีปัญหาต่างๆจากระบบเช่นสัญญาณรบกวนจากกระแสไฟฟ้าหรือจากทางเชิงกลอื่นๆ วิธีการบันทึกด้วยคนจะไม่สามารถสืบกลับไปหาสาเหตุได้เลยเนื่องจากไม่แน่ใจว่าจดผิดหรือไม่

ปัญหาความผิดพลาดจากการเก็บข้อมูลด้วยคนนั้นสามารถแก้ได้ โดยการนำเทคโนโลยีด้านภาพถ่าย(Machine vision technology) มาช่วย โดยในระหว่างการสอบเทียบนั้น ระบบที่พัฒนาขึ้นจะทำการตรวจจับภาพจากหน้าจอแสดงผลของเครื่องวัดแรง ด้วยกล้องประสิทธิภาพสูง จากนั้นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะทำการแปลงผลภาพให้เป็นตัวเลขโดยใช้เทคนิค OCR ซึ่งข้อมูลที่แปลงผลนี้จะถูกบันทึกลงในไฟล์คำนวณการสอบเทียบแบบอัตโนมัติ รวมทั้งไฟล์ภาพก็ถูกบันทึกลงในหน่วยความจำเพื่อการย้อนดูได้ภายหลัง ด้วยวิธีการใหม่นี้จะทำให้การบันทึกรูปแบบของการแกว่งของข้อมูลสามารถทำได้โดยง่ายโดยการเพิ่มจำนวนของการเก็บข้อมูลในแต่ละค่าแรงที่ใช้สอบเทียบ ข้อดีประการสำคัญคือระบบนี้สามารถใช้ในการบันทึกค่าจากเครื่องแสดงผลที่หลากหลายได้ โดยไม่จำเป็นต้องเขียนโปรแกรมติดต่อกับเครื่องมือผ่านสายสัญญาณ

จากการศึกษาในอดีตโดยทางผู้วิจัยซึ่งได้ใช้วิธีการเก็บข้อมูลด้วยวิธีอื่นๆ เช่นผ่านสายสัญญาณสื่อสาร RS232 หรือ GPIB พบว่าก็สามารถเก็บข้อมูลได้อย่างถูกต้อง แต่ในทางปฏิบัติจริงนั้น เนื่องจากเครื่องมือที่ส่งมาสอบเทียบจำนวนมากไม่สามารถติดต่อกับทางสายสัญญาณได้ ส่วนในโมเดลที่สามารถติดต่อกับสายสัญญาณได้ก็มีความหลากหลายในโปรโตคอลในการติดต่อเนื่องจากผู้ผลิตแตกต่างกัน ซึ่งบางเครื่องอาจต้องใช้เวลามากกว่าสัปดาห์ในการเขียนโปรแกรมติดต่อ และต้องใช้พนักงานที่มีความสามารถด้านโปรแกรมสูง ทำให้วิธีการติดต่อแบบผ่านสายสัญญาณนี้ไม่เหมาะในทางปฏิบัติ เนื่องจากไม่สามารถประยุกต์ใช้ได้ในทุกเครื่องมือ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อจะพัฒนาระบบการเก็บข้อมูลการสอบเทียบแรงโดยใช้เทคโนโลยีภาพถ่ายมาใช้แทนการเก็บข้อมูลด้วยคน ซึ่งจะเป็นระบบที่สามารถใช้ได้กับเครื่องมือวัดแรงที่แสดงผลแบบจอดีจิดอลได้ทุกแบบ โดยจะมีการออกแบบระบบต้นแบบและพัฒนาโปรแกรมให้เหมาะสำหรับการเก็บข้อมูลการสอบเทียบแรงและ สามารถนำไปคำนวณผลการสอบเทียบรวมทั้งการออกใบรับรองผลการสอบเทียบตามมาตรฐาน ISO376 ได้ โดยมีการสำรวจรูปแบบประเภทเครื่องวัดแรงและรูปแบบของหน้าจอแสดงผลแบบต่างๆที่มีใช้กันโดยทั่วไป และทำการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ต้องป้อนให้กับโปรแกรมให้เหมาะสมกับหน้าจอแสดงผลแต่ละแบบ ในด้านการประเมินความสามารถของโปรแกรม มีการทดลองสอบเทียบจริง และคำนวณโดยอาศัยวิธีการทางสถิติเพื่อหาค่าความเชื่อมั่นของระบบ

ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ทำให้ได้เครื่องต้นแบบและความรู้ในแนวทางการประเมินเครื่องต้นแบบสำหรับบันทึกข้อมูลด้วยเทคโนโลยีภาพถ่าย เพื่อให้สามารถนำมาใช้งานได้จริง ซึ่งองค์ความรู้ที่ได้สามารถนำไปเผยแพร่ให้กับหน่วยงานปฏิบัติการด้านการสอบเทียบและทดสอบแรงได้ ซึ่งเป็นประโยชน์ในการพัฒนาระบบประกันคุณภาพในการให้บริการสอบเทียบของประเทศ และยังสามารถต่อยอดไปประยุกต์ใช้ในงานทดสอบและการวัดด้านอื่นๆได้อีกมากมาย

2. วัตถุประสงค์ของโครงการ (Objectives)

1. เพื่อพัฒนาระบบต้นแบบการบันทึกและมวลผลข้อมูลด้วยภาพถ่าย
2. เพื่อพัฒนาโปรแกรมสำหรับบันทึกข้อมูลและคำนวณผลการสอบเทียบแรง
3. เพื่อสำรวจชนิดและประเภทของเครื่องวัดแรงที่มีใช้ภายในประเทศ (เฉพาะรุ่นที่แสดงผลแบบดิจิทัล)
4. ทำการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมต่อเครื่องวัดแรงและหน้าจอแสดงผลแบบต่างๆ
5. เพื่อประเมินความถูกต้องของเครื่องต้นแบบและโปรแกรม

3. การทบทวนวรรณกรรม (Literature Review)

เครื่องวัดแรง (Load cell) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดแรงในหลายอุตสาหกรรม ตั้งแต่การทดสอบแรงขนาดเล็กเช่นผลิตภัณฑ์อาหารไปจนถึงแรงขนาดใหญ่เช่นการทดสอบคุณสมบัติเหล็กที่ใช้ในการก่อสร้าง โดยทั่วไปแล้วการสอบเทียบเครื่องวัดแรงนั้นจะกระทำตามวิธีการมาตรฐาน เช่น ISO376^[1] ซึ่งหลักการสอบเทียบเป็นไปตามลำดับดังนี้ ขั้นแรกต้องทำการติดตั้งเครื่องวัดแรงบนเครื่องสอบเทียบแรง จากนั้นทำการจ่ายแรงมาตรฐานซึ่งรู้ค่าให้กับเครื่องวัดแรงสุดท้ายก็ทำการอ่านค่าที่ได้จากเครื่องวัดแรงเปรียบเทียบกับค่าแรงมาตรฐานที่จ่ายให้ โดยจากผลการทดลองในอดีตพบว่า คุณภาพและค่าความไม่แน่นอนของแรงมาตรฐานนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องสอบเทียบแรง

จากคู่มือสำหรับการประเมินค่าความไม่แน่นอนจากการวัดแรง^[2] เมื่อแยกแยะตามชนิดของการสร้างแรงแล้ว เครื่องที่ใช้สำหรับสอบเทียบเครื่องวัดแรงแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด ได้แก่

1. Deadweight force standard machine 2. Lever force amplification machine 3. Hydraulic amplification machine) 4. Force comparator machine ซึ่งจากข้อมูลการเปรียบเทียบผลการสอบเทียบเครื่องวัดแรงระหว่างหน่วยงานต่างๆในประเทศไทย^[3] พบว่าค่าที่ได้จากการสอบเทียบมีความแตกต่างและกระจายกันอยู่มาก ซึ่งสาเหตุของความแตกต่างนี้เกิดได้หลายปัจจัย เช่น ปัจจัยของการตั้งศูนย์ ปัจจัยของรูปแบบการแกว่งตัวของสัญญาณ ปัจจัยจากผู้สอบเทียบที่แตกต่างกัน เป็นต้น โดยขีดจำกัดด้านความสามารถของผู้สอบเทียบในการอ่านและบันทึกค่าก็เป็นปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้เกิดความแตกต่างกันของผลการวัด

จากผลการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องวัดแรงที่ถูกสอบเทียบโดย Deadweight force standard machine (DWM) กับ Force comparator machine (FCM)^[4] พบว่าการสอบเทียบด้วย FCM ทำได้ยากกว่าเนื่องจากผู้สอบเทียบต้องทำการอ่านและบันทึกค่าจากเครื่องวัดแรงสองตัวพร้อมกัน (เครื่องวัดแรงมาตรฐาน และ เครื่องวัดแรงที่ถูกสอบเทียบ) โดยผลที่ได้จากการสอบเทียบด้วย FCM สองครั้งมีความแตกต่างกันมาก (>700 ppm) เมื่อเทียบกับ DWM (<100ppm) ซึ่งปัจจัยที่อาจส่งผลให้มีความแตกต่างกันมากเนื่องจากความสามารถในการจดบันทึกค่าของผู้สอบเทียบ

ปัญหาและข้อจำกัดในการบันทึกข้อมูลการสอบเทียบด้วยคนนั้นสามารถแก้ไขได้ โดยแทนที่คนด้วยการใช้เทคโนโลยีด้านภาพถ่าย (Machine vision technology) ซึ่งเป็น เป็นกระบวนการที่ทำให้ระบบอุปกรณ์ประมวลผล (Computer, Microcontroller, Programmable Logic Controller) ของเครื่องหรือหุ่นยนต์ มีความสามารถในการรับรู้ภาพ และสามารถแปลผลความหมายของภาพได้ เพื่อสั่งงานหรือควบคุมกลไกต่างๆตามที่ได้ตั้งโปรแกรมไว้ ซึ่งจุดมุ่งหมายของเทคโนโลยี Machine vision คือการทำให้เครื่องจักรมีความสามารถในการรับรู้การมองเห็นแบบมนุษย์ โดยมีการนำเอาเทคโนโลยีนี้ไปใช้อย่างกว้างขวาง เช่นการตรวจสอบความถูกต้องของการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์^[5] การอ่านและบันทึกป้ายทะเบียนรถ^[6] การตรวจสอบประเภทของพื้นที่จากภาพถ่ายดาวเทียม^[7] การตรวจสอบความผิดปกติของหลอดเลือดบริเวณลูกตา^[8] และการตรวจสอบจุดบกพร่องของเส้นใยผ้า^[9] เป็นต้น

สำหรับเทคนิคการรับรู้ตัวอักษรจากภาพ (Optical character recognition – OCR) นั้น เป็นเทคนิคในด้านการประมวลผลภาพซึ่งจะทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถรับรู้ข้อความที่อยู่ในภาพถ่ายได้ และมีการนำไปใช้ในการแปลผลจากการเขียนด้วยลายมือ ตัวอักษรพิมพ์ ภาพที่

อ่านจากสแกนเนอร์ ให้เป็นข้อมูลด้านตัวเลขหรือตัวอักษรที่คอมพิวเตอร์เข้าใจได้^[10] โดยวิธีการนี้สามารถนำไปใช้ในการอ่านผลจากการสอบเทียบเครื่องมือแบบดิจิทัลได้^[11]

จากการศึกษาในเบื้องต้นโดยผู้วิจัยและทีมงานพบว่าการใช้เทคโนโลยีด้าน Machine vision สามารถนำมาใช้ในการสอบเทียบเครื่องวัดแรงตามมาตรฐาน ISO376 ได้อย่างถูกต้อง และจากข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองสอบเทียบมีความถูกต้อง^[12] แต่ต้องมีการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆให้เหมาะสมซึ่งการทดลองในเบื้องต้นนี้ใช้ได้เฉพาะกับเครื่อง Indicator รุ่น HBM-DMP40 เท่านั้น ดังนั้นเพื่อให้สามารถใช้กับเครื่องแสดงผลแบบอื่นๆได้หลากหลายงานวิจัยนี้จึงเป็นการสร้างเครื่องต้นแบบและโปรแกรมเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลผลการสอบเทียบและบันทึกลงไฟล์คำนวณอัตโนมัติ ซึ่งสามารถใช้ได้กับเครื่องวัดแรงที่หลากหลาย โดยจะทำการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับเครื่องแสดงผลแบบต่างๆที่มีใช้ในประเทศ โดยความรู้และผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเก็บข้อมูลการวัดแรง รวมถึงการวัดอื่นๆได้ ซึ่งหากมีการนำวิธีการนี้ไปใช้อย่างแพร่หลาย จะเป็นการประกันคุณภาพและยกระดับมาตรฐานการสอบเทียบแรงของประเทศ และในทางอ้อมสามารถยกระดับคุณภาพสินค้าของประเทศได้

4. การออกแบบการวิจัย (Research Design)

1. การดำเนินการในงานวิจัยนี้จะเริ่มจากการสำรวจรูปแบบการแสดงผลและโมเดลของเครื่องวัดแรงที่ใช้ในประเทศไทยโดยเริ่มจากหน่วยงานที่เป็นสมาชิกในชมรมมาตรวิทยาแรง
2. ตรวจสอบคุณสมบัติของเครื่องแสดงผลแบบต่างๆเพื่อใช้ในการออกแบบระบบจับภาพ
3. ออกแบบและจัดหาเครื่องบันทึกและประมวลผลภาพ
4. พัฒนาโปรแกรมเพื่อการประมวลผลการวัดจากภาพและคำนวณผลการสอบเทียบอัตโนมัติ
5. ทำการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม เช่นระยะเวลาการเปิดหน้ากล้อง ลักษณะรูปแบบตัวอักษร ขนาดและสีของตัวอักษร เป็นต้น ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้จะ

ถูกป้อนให้กับโปรแกรมเพื่ออ่านค่าจากเครื่องวัดแรงแต่ละแบบ (ในที่นี่ตั้งเป้าไว้ 10 โมเดล)

6. ทำการทดลองโดยการสอบเทียบจริงตามมาตรฐาน ISO376 โดยใช้ระบบที่พัฒนาขึ้น
7. ตรวจสอบความน่าเชื่อถือของระบบด้วยวิธีการทางสถิติ

5. ขอบเขตการวิจัย (Scope of Research)

- ออกแบบและพัฒนาเครื่องต้นแบบเพื่อใช้ในการอ่านและบันทึกผลการสอบเทียบแรง
- พัฒนาโปรแกรมเพื่อการบันทึกและคำนวณผลการสอบเทียบอัตโนมัติ
- สำรวจประเภทเครื่องวัดแรงประเภทดิจิตอลแบบต่างๆ ที่มีใช้ภายในชมรมมาตรวิทยาแรง
- ทำการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับเครื่องวัดแรงต่างๆ (ประมาณ 10 โมเดล หรือ ขึ้นกับจำนวนห้องปฏิบัติการที่สนใจเข้าร่วมโครงการ)
- ทำการทดลองสอบเทียบจริงโดยใช้เครื่องที่พัฒนาขึ้นในการเก็บข้อมูล ประเมินผลทางสถิติ
- งานวิจัยนี้พัฒนาสำหรับเครื่องวัดแรงที่แสดงผลแบบดิจิตอลเท่านั้น เช่นจอแสดงผลแบบ 7-segment หน้าจอ LCD และ dot matrix ทั้งนี้ไม่รวมจอแสดงผลแบบอนาล็อกเช่น Dial gauge หน้าปัดแบบเข็ม ของ Proving ring

6. ระเบียบวิธีการวิจัย (Research Methodology)

6.1 การสำรวจเครื่องแสดงผลแรงที่มีใช้ในประเทศ

การสำรวจนี้มีจุดประสงค์เพื่อให้ได้ข้อมูลของเครื่องวัดแรงที่มีใช้จริงในประเทศไทย และได้จำนวนของเครื่องแสดงผลจากหน่วยงานต่างๆที่สนใจเข้าร่วมโครงการ เพื่อให้ทางผู้วิจัยเข้าไปทำการทดลองเก็บข้อมูลจริงจากเครื่องมือของหน่วยงานดังกล่าว โดยได้รับข้อมูลหลักมาจากสองช่องทางคือ จากแบบสอบถาม และจากการสอบถามข้อมูลโมเดลของเครื่องแสดงผลแรงที่ได้ทำการสอบเทียบภายในหน่วยงานในชมรมมาตรวิทยาแรงสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติเป็นหลัก

6.2 ตรวจสอบสเป็คของเครื่องแสดงผลแบบต่างๆเพื่อใช้ในการออกแบบระบบจับภาพ

โดยการตรวจสอบคุณสมบัติของหน้าจอแสดงผลของเครื่องวัดแรงประเภทดิจิทัลจากบริษัทผู้ผลิตต่างๆ โดยคุณลักษณะที่สำคัญต่อการพัฒนาระบบบันทึกข้อมูลด้วยเทคโนโลยีภาพถ่ายคือ ประเภทและรูปแบบของตัวเลขบนหน้าจอแสดงผล เช่นแบบ LCD 7-segment, LED 7-segment, LED dot-matrix และ LCD computer display เป็นต้น โดยคุณลักษณะที่สำคัญอื่นๆ เช่น ขนาด สีของตัวเลข ความสว่างของตัวเลขเทียบกับฉากหลัง ความเอียงของตัวเลข และอัตราเร็วในการอัปเดตข้อมูล ก็จำเป็นต้องนำมาพิจารณาในการออกแบบระบบและพัฒนาโปรแกรม โดยประเภทของหน้าจอแสดงผลที่พบบ่อย ดังตัวอย่างโมเดลของเครื่องแสดงผลต่อไปนี้

6.2.1 โมเดล HBM-DMP40 (รูปที่6) เป็นเครื่องแสดงผลที่มีความละเอียดสูงมาก และเป็นที่ยอมรับใช้ในสถาบันมาตรวิทยาในระดับนานาชาติ โดยหน้าจอแสดงผลในรุ่นนี้เป็นแบบ LED dot-matrix โดยมีลักษณะ ตัวเลขสีเขียวสว่างบนฉากหลังมืด และตัวเลขอยู่ในแนวตั้งตรง



รูปที่ 6. HBM-DMP40

6.2.2 โมเดล HBM-MGCplus (รูปที่ 7) เป็นรุ่นที่มีหน้าจอแสดงผลแบบ LCD dot-matrix โดยมีลักษณะ ตัวเลข สีดำบนฉากหลังสว่าง และตัวเลขอยู่ในแนวตั้งตรง



รูปที่ 7. HBM-MGCplus

6.2.3 โมเดล Daytronic-3270F (รูปที่ 8) เป็นรุ่นที่มีหน้าจอแสดงผลแบบ LED 7-segment โดยมีลักษณะ ตัวเลขสีแดงบนฉากหลังมืด และตัวเลขอยู่ในแนวเอียง



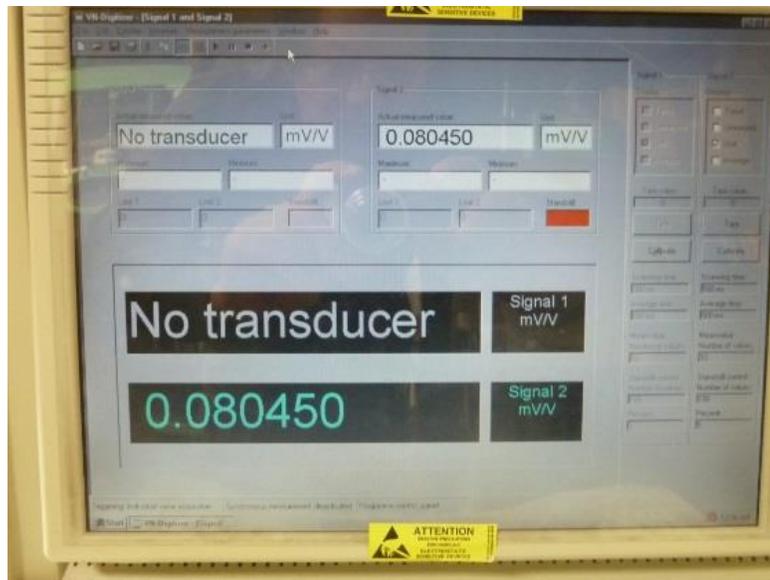
รูปที่ 8. Daytronic-3270F

6.2.4 โมเดล PT200M (รูปที่ 9) เป็นรุ่นที่มีหน้าจอแสดงผลแบบ LCD 7-segment โดยมีลักษณะ ตัวเลขสีดำบนฉากหลังสว่าง และตัวเลขอยู่ในแนวเอียง



รูปที่ 9. PT200M

6.2.5 โมเดล GTM-VD200k (รูปที่ 10) เป็นรุ่นที่มีหน้าจอแสดงผลแบบ LCD computer display โดยมีลักษณะ ตัวเลขสีเขียวสว่างบนฉากหลังมืด และตัวเลขอยู่ในแนวตรง

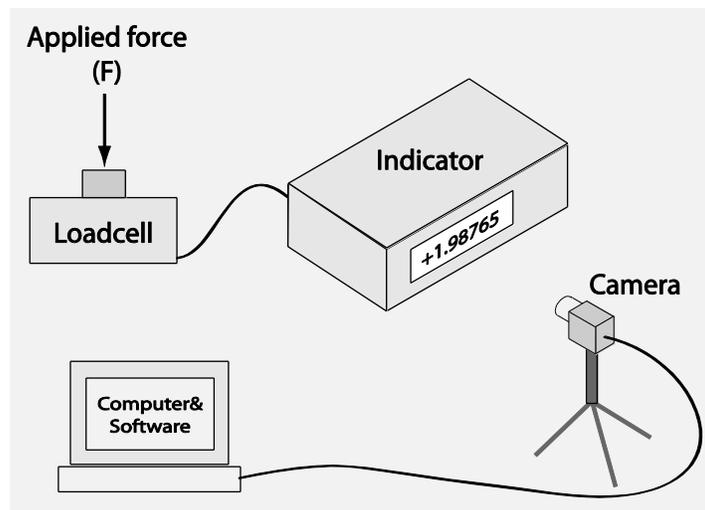


รูปที่ 10. GTM-VD200k

6.3 การพัฒนาระบบบันทึกและประมวลผลภาพ

จากข้อมูลที่ได้โดยนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจประเภทเครื่องมือมาพิจารณาในการออกแบบและเลือกอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับระบบบันทึกข้อมูลด้วยภาพถ่าย ดังแสดงในรูปที่ 11 โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

- 1 คอมพิวเตอร์ ซึ่งมีชิพประมวลผล core i-7 เพื่อการประมวลผลที่รวดเร็ว
- 2 กล้องบันทึกภาพ รุ่น Basler acA1300-30uc ซึ่งเป็นแบบสามารถปรับตั้งค่า Exposure time ด้วยซอฟต์แวร์ได้ เพื่อให้สามารถปรับเปลี่ยนระยะเวลาการจับภาพให้เหมาะสมกับอัตราการอัปเดตข้อมูลของเครื่องมือแต่ละโมเดล
- 3 เลนส์ เป็นรุ่น c-mount และมีระยะโฟกัส 25 mm
- 4 ฐานตั้งกล้อง



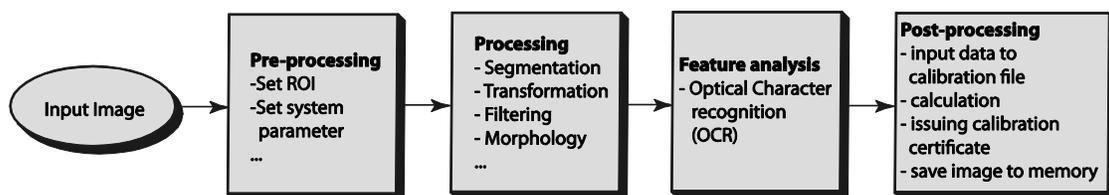
รูปที่ 11. ส่วนประกอบระบบที่พัฒนาขึ้น

6.4 พัฒนาโปรแกรมเพื่อการประมวลผลตัวเลขจากภาพถ่ายหน้าจอแสดงผล

หลักการพัฒนาโปรแกรมในการแปรผลภาพเป็นข้อมูลตัวเลขด้วยเทคโนโลยีภาพถ่าย (Machine vision) นั้นแสดงในรูปที่ 12 โดยแบ่งขั้นตอนออกเป็นห้าส่วน ดังนี้

1. ส่วนการจับภาพ (input image) โดยเมื่อมีการสั่งการจากผู้ใช้เครื่องให้เก็บข้อมูล โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะทำการสั่งให้ระบบกล้องทำการจับภาพถ่ายหน้าจอของแสดงผลของเครื่องวัดแรง ด้วยระยะเวลาการเปิดรับภาพ (Exposure time) ตามค่าที่ตั้งไว้ที่เหมาะสมกับเครื่องวัดแต่ละโมเดล โดยตัวอย่างภาพแสดงในรูปที่ 13a.

2. ส่วนเตรียมการก่อนประมวลผล (Pre-processing) โดยผู้ใช้งานจะทำการกำหนดพื้นที่ของภาพที่สนใจ (Region of Interest-ROI) ซึ่งเป็นพื้นที่บนหน้าจอที่มีตัวเลขแสดงผลการวัด จากนั้นโปรแกรมจะทำการอ่านค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นในการประมวลผลจากไฟล์ฐานข้อมูลเครื่องวัดนั้นๆ เพื่อจะได้ส่งต่อไปกับส่วนประมวลผลต่อไปโดยตัวอย่างในส่วนนี้แสดงในรูปที่ 13b.
3. ส่วนประมวลผลภาพ (Processing) ในส่วนนี้ระบบจะนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาประกอบการตัดสินใจในการเลือกเทคนิคด้าน Machine vision ที่เหมาะสมกับเครื่องมือ มาใช้ เช่นเทคนิคการแปลงภาพสีเป็นขาวดำ เทคนิคการกลับสีสำหรับกรณีที่มีตัวอักษรสว่างจากมืด เทคนิคการทำการแยกข้อมูลออกจากฉากหลัง (Segmentation) เทคนิคการทำการแปลงรูปร่างของข้อมูลภาพ (Transformation) ใช้ในกรณีที่ตัวอักษรเป็นตัวเอียงก็จะทำการปรับให้ตรงเป็นต้น โดยตัวอย่างภาพขั้นตอนการดำเนินการในส่วนนี้สำหรับหน้าจอเครื่อง DMP 40 แสดงอยู่ในรูปที่ 13c-13f.
4. ส่วนการวิเคราะห์ลักษณะ (Feature analysis) เป็นส่วนที่นำข้อมูลภาพเฉพาะส่วนภาพตัวเลขที่ได้รับมาทำการ แปลผลเป็นข้อมูลตัวเลข ด้วยเทคนิคการรับรู้ตัวอักษร (Optical character recognition – OCR) โดยการเปรียบเทียบความเหมือนกับไฟล์ฐานข้อมูลภาพตัวเลขจากฟอนท์กลางต่างๆซึ่งมีการรวบรวมข้อมูลไว้ โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้ไฟล์ฐานข้อมูลตัวเลขของโปรแกรม Halcon Development Module เป็นหลัก ซึ่งผลการวิเคราะห์ทำได้ถูกต้องดังแสดงในรูปที่ 14
5. ส่วนดำเนินการภายหลัง (Post-processing) โดยนำข้อมูลตัวเลขที่ได้จากส่วนวิเคราะห์ลักษณะ มาดำเนินการต่อเพื่อบันทึกข้อมูลต่างๆที่ได้ ทั้งชื่อภาพ เวลา ผลวิเคราะห์ที่ได้ ลงในไฟล์การบันทึกผลการสอบเทียบ (Calibration record) และรูปภาพข้อมูลดิบก็จะถูกบันทึกลงในหน่วยความจำ

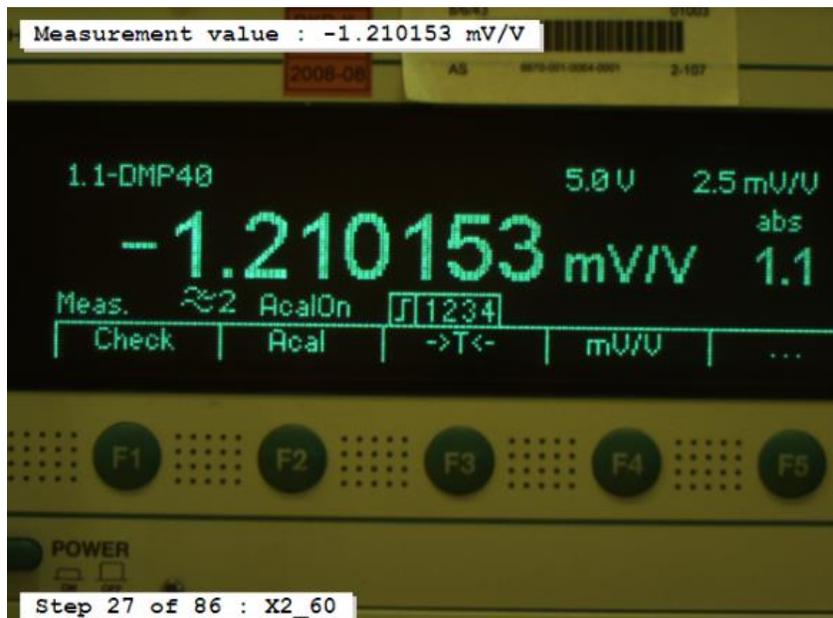


รูปที่ 12 Image analysis process

โดยตัวอย่างขั้นตอนในการประมวลผลด้านภาพถ่ายเบื้องต้นสำหรับผลการวัดด้วยเครื่อง DMP-40 แสดงในรูปที่ -13a-13f. โดยรูปอักษรต่างๆแต่ละตัวที่ได้จากรูปที่ 13f. จะถูกนำไปวิเคราะห์ด้วย OCR technique เพื่อให้โปรแกรมแปลผลภาพเป็นตัวเลขได้อย่างถูกต้องดังแสดงในรูปที่ 14.



รูปที่ 13. ตัวอย่าง image processing สำหรับการอ่านค่าจากเครื่อง DMP-40



รูปที่ 14 ตัวอย่าง feature analysis using OCR technique

6.5 การทดลองเก็บข้อมูลจากหน้าจอแสดงผลของเครื่องวัดแบบต่างๆ

ในการทดลองนี้เป็นการนำโปรแกรมประมวลผลภาพที่ได้พัฒนาขึ้นมาทดลองเก็บข้อมูลจากหน้าจอแสดงผลแบบต่างๆที่มีใช้ในประเทศ จำนวน 10 โมเดล เพื่อประเมินค่าความถูกต้องในการแปรผลของระบบที่พัฒนาขึ้น โดยในการแปรผลจากภาพถ่ายนั้นจะต้องพิจารณาถึงการตั้งค่าพารามิเตอร์ในการบันทึกภาพและประมวลผลให้สอดคล้องกับลักษณะหน้าจอของเครื่องแสดงผลแรง และไหลดที่กระทำระหว่างการทดสอบ

6.6 การศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อความถูกต้อง

ในงานวิจัยนี้มีการทดสอบปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อความถูกต้องของระบบโดยปัจจัยเหล่านี้ประกอบด้วย

1. ปัจจัยด้านระยะห่าง
2. ปัจจัยด้านแสงสว่าง
3. ปัจจัยด้านลักษณะการสร้างแรง
4. ปัจจัยด้านการระยะเวลาการรับภาพ
5. การป้องกันการเกิดเลขซ้อน
6. ปัจจัยที่อาจพบในธรรมชาติเช่นแสงอาทิตย์

6.7 การทดลองบันทึกผลสอบเทียบตามมาตรฐาน ISO376

โดยทำการสอบเทียบเครื่องวัดแรง อ้างอิงลักษณะการเก็บข้อมูลตามมาตรฐาน ISO376 โดยมีการบันทึกด้วยระบบ Machine vision เปรียบเทียบกับการบันทึกด้วยคน เพื่อแสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้ในการสอบเทียบจริงได้

7. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

7.1 การสำรวจโมเดลเครื่องแสดงผลแรงที่มีใช้ในประเทศ

จากการสำรวจพบว่าเครื่องวัดแรงจากหน่วยงานต่างๆในประเทศ ซึ่งได้ถูกสอบเทียบในหน่วยงานภายในชมรมมาตรวิทยาแรงสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ โดยมีการสอบเทียบอ้างอิงตามมาตรฐาน ISO-376 โดยมีปริมาณการสอบเทียบจากข้อมูลที่สามารถได้ในระหว่างปี 2013 และ 2014 จำนวน 170 ครั้ง ดังตารางที่ 1 โดยหมายเลขในตารางแสดงจำนวนครั้งที่ได้ทำการสอบเทียบ และ ✓ แสดงโมเดลที่ทางได้ดำเนินการทดลองเพื่อเก็บฐานข้อมูลการบันทึกผลด้วยเทคโนโลยีภาพถ่าย

ตารางที่ 1. ข้อมูลโมเดลเครื่องแสดงผลบางส่วนที่ได้สอบเทียบโดยหน่วยงานภายในชมรมมาตรวิทยาแรงสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ในปี 2013 และ 2014

ลำดับที่	ผู้ผลิต/โมเดล	ปี 2014	ปี 2013	ประเภทจอแสดงผล	ตัวเลข (สว่าง/มืด)	รุ่นที่อยู่ในแผนการทดลอง
1	HBM-DMP40	18	5	LED-dot matrix	สว่าง	✓
2	AEP-DFI	2	-	LCD-7 segment	มืด	
3	HBM-Scout 55	6	5	LED-16 segment	สว่าง	✓
4	HBM-MGCplus	20	13	LCD-dot matrix	มืด	✓
5	PT Ltd.-PT200M	1	-	LCD-7 segment	มืด	
6	Cooper-M4215A	7	2	LED-dot matrix	สว่าง	
7	AIKOH-M-0218B	1	-	LED-7 segment	สว่าง	
8	A&D company Limited-AD1661	4	-	LCD-7 segment	มืด	
9	Interface-9840	16	18	LED-dot matrix	สว่าง	✓
10	Motive-DS2	1	-	LCD-7 segment	มืด	
11	Daytronic-3270F	1	1	LED-7 segment	สว่าง	

ลำดับ ที่	ผู้ผลิต/โมเดล	ปี 2014	ปี 2013	ประเภท จอแสดงผล	ตัวเลข (สว่าง/มืด)	รุ่นที่อยู่ใน แผนการทดลอง
12	Tovey Engineering, Inc- 9150-2-10	2	-	LED-dot matrix	สว่าง	
13	Electro Standard- M4215A	3	1	LED-dot matrix	สว่าง	
14	Morehouse- M4215A	12	-	LED-dot matrix	สว่าง	
15	RedLion Control- PAXS	1	1	LED-7 segment	สว่าง	
16	Agilent-34401A	1	2	LED-14 segment	สว่าง	
17	Agilent-34420A	1	2	LED-14 segment	สว่าง	
18	Weighing Indicator-AC- 9000	1	1	LED-7 segment	สว่าง	
19	HBM-DK38.D20	-	9	LED-7 segment	สว่าง	✓
20	Sensy-INDI-E	-	4	LED-7 segment	สว่าง	
21	FINE-FS-8000	-	1	LED-7 segment	สว่าง	
22	HBM-Spider8	-	2	computer display	มืด	
23	Digital Dial gauge	-	1	LCD-7 segment	มืด	
24	HBM-MGC Compact	-	3	LCD-dot matrix	มืด	
25	A&D Co., Ltd.-AD- 4322A-MK II	-	1	LED-7 segment	สว่าง	
26	GTM-VD200k	-	-	computer display	สว่าง	✓
Total		98	72			

จากตารางที่ 1 พบว่า ประเภทหน้าจอแสดงผลต่างๆที่ได้จากการสำรวจ มีรูปแบบการแสดงผลตัวเลขอยู่เพียงแค่ สามประเภท คือ แบบ dot-matrix แบบ multi-segment และแบบ Computer display และยังแบ่งตามลักษณะสีตัวเลขเมื่อเทียบกับ

จากหลังอีกสองประเภทคือ มีด และ สว่าง ดังนั้น ในการเลือกเครื่องมือเพื่อใช้ในการทดลองเก็บฐานข้อมูลควรครอบคลุมรูปแบบการแสดงผลทั้ง 6 แบบคือ

1. Dot-matrix ตัวเลขสว่าง
2. Dot-matrix ตัวเลขมีด
3. Multi-segment ตัวเลขสว่าง
4. Multi-segment ตัวเลขมีด
5. Computer display ตัวเลขสว่าง
6. Computer display ตัวเลขมีด

เนื่องจากเครื่องวัดแรงและเครื่องแสดงผลที่มีใช้อยู่ตามหน่วยงานให้บริการสอบเทียบนั้นเป็นเครื่องมือที่มีราคาแพง ทำให้ค่อนข้างมีข้อจำกัดในด้านการทดลอง ดังนั้นในงานวิจัยนี้ทางผู้วิจัยได้ทำการทดลองกับเครื่องมือจำนวน 12 โมเดล โดยแบ่งเป็น 6 เครื่องมือซึ่งเป็นเครื่องมือวัดแรงมาตรฐาน ดังแสดงในรูปที่ 15 และอีก 6 โมเดลเป็นเครื่องมือวัดอื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 16

จากรูปที่ 15 หน้าจอแสดงผลเครื่องวัดแรงมาตรฐาน ที่ได้ทำการทดลองเก็บข้อมูล ซึ่งเป็นโมเดลที่มีการใช้อยู่ในหน่วยงานภายในประเทศด้านการสอบเทียบแรงและวัดแรง ซึ่งจากตารางที่ 1 มีทั้งสิ้น 6 โมเดล ดังรูปที่ 15a-15g คือ

1. HBM-DMP40 (รูปที่ 15a) มีหน้าจอแบบ LED dot-matrix ตัวเลขสว่างจากมีด
2. HBM-Scout 55 (รูปที่ 15b) มีหน้าจอแบบ LED 16-segment ตัวเลขสว่างจากมีด
3. HBM-MGCplus (รูปที่ 15c) มีหน้าจอแบบ LCD dot-matrix ตัวเลขมีดจากสว่าง
4. Interface-9840 (รูปที่ 15d) มีหน้าจอแบบ LED dot-matrix ตัวเลขสว่างจากมีด
5. HBM-DK38.D20 (รูปที่ 15e) มีหน้าจอแบบ LED 7-segment ตัวเลขสว่างจากมีด
6. GTM-VD200k (รูปที่ 15f) มีหน้าจอแบบ LCD computer display ตัวเลขสว่างจากมีด

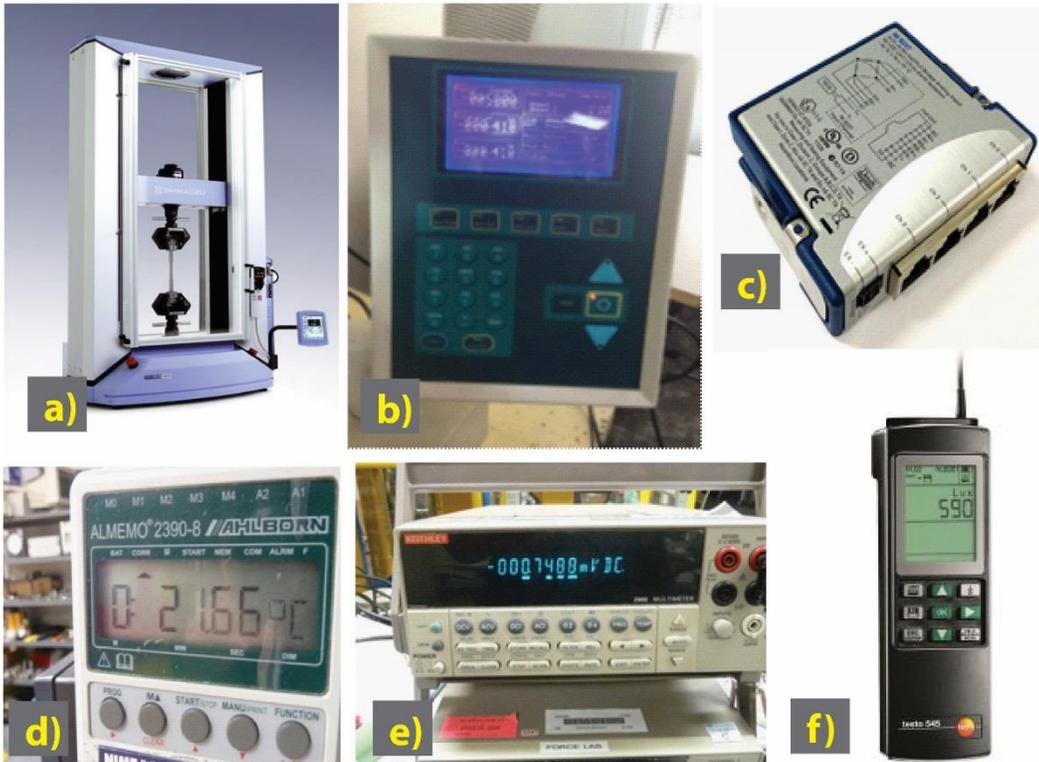


รูปที่ 15. หน้าจอแสดงผลเครื่องวัดแรงที่ทำการทดสอบ

จากรูปที่ 16 เครื่องมือวัดอื่นๆที่มีการทำการทดลอง 6 โมเดล ดังรูปที่ 16a-16g คือ

1. หน้าจอแสดงผลของเครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine – UTM) รุ่น Shimadzu AG-X (รูปที่ 16a) มีหน้าจอแบบ LED 7-segment ตัวเลขสว่างฉากมืด
2. หน้าจอแสดงผลของเครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine – UTM) รุ่น Hounsfield H50KS (รูปที่ 16b) มีหน้าจอแบบ LCD dot-matrix ตัวเลขสว่างฉากมืด
3. หน้าจอคอมพิวเตอร์แสดงผลซึ่งต่อกับเครื่องวัดสเตรน NI-9237 (รูปที่ 16c) มีหน้าจอแบบ LCD computer display ตัวเลขมืดฉากสว่าง
4. เครื่องวัดอุณหภูมิความชื้น Almemo-2390-8 (รูปที่ 16d) มีหน้าจอแบบ LCD 7-segment ตัวเลขมืดฉากหลังสว่าง

5. มัลติมิเตอร์รุ่น Keithley-2000 (รูปที่ 16e) มีหน้าจอแบบ LED 7-segment ตัวเลขสว่างฉากมืด
6. Light meter รุ่น TESTO-545 (รูปที่ 16f) มีหน้าจอแบบ LCD computer display ตัวเลขสว่างฉากมืด



รูปที่ 16. เครื่องวัดอื่นๆที่ได้ทำการทดลอง

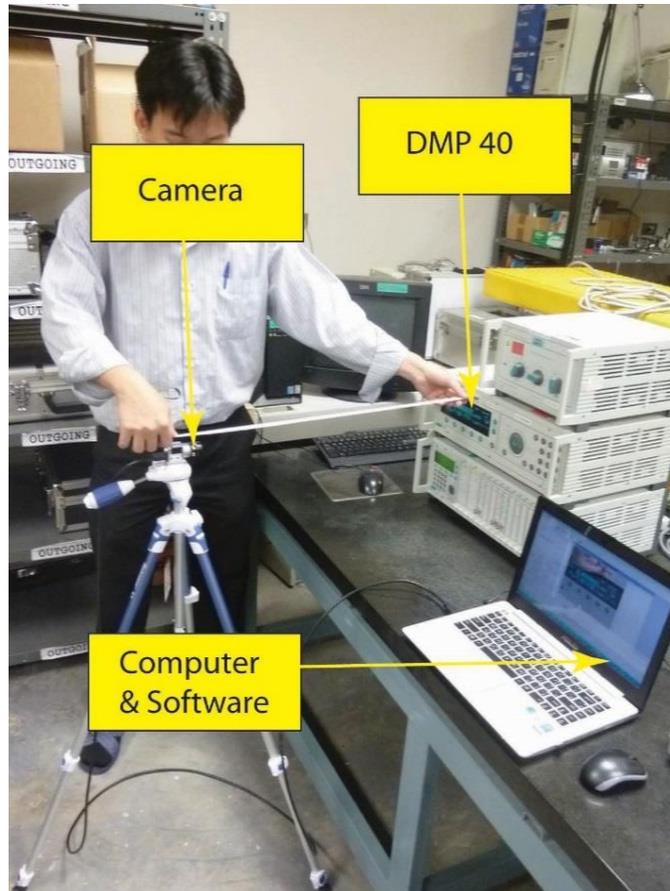
7.2 การทดลองเก็บข้อมูลจากหน้าจอแสดงผลของเครื่องวัดแบบต่างๆ

ในการพัฒนาซอฟต์แวร์ให้ง่ายต่อการนำไปใช้ สำหรับผู้ใช้ทั่วไป ซึ่งไม่ได้มีความสามารถด้านโปรแกรมสูงนั้นทางผู้วิจัยได้เลือกพัฒนาโปรแกรมประมวลผลภาพบนซอฟต์แวร์ HALCON ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ชั้นนำด้านการประมวลผลภาพ ส่วนโปรแกรมจัดการข้อมูลอื่นได้พัฒนาบนซอฟต์แวร์ LabVIEW

*** หมายเหตุ (ซอฟต์แวร์ HALCON development version สำหรับการพัฒนาเพิ่มเติมจะมีราคาประมาณ 296,000 บาท ทั้งนี้หากใช้เวอร์ชัน Runtime ราคาจะประมาณ 71,000 บาท นอกจากนี้ยังมีโปรแกรมอื่น ๆ ที่มีศักยภาพในการประมวลผลภาพ เช่น LabVIEW-NI Vision Development Module และ Matlab เป็นต้น)

ในการแปรผลภาพด้วยเทคนิค OCR นั้น ทางผู้วิจัยได้เลือกรูปแบบตัวอักษร ซึ่งได้ถูกเทรนมาแล้วในโปรแกรม HALCON จำนวนสองแบบคือ Industrial0-9+ และ Dotprint0-9+ โดยภาพตัวเลขจะถูกประมวลผลด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

ในการทดลองเพื่อประเมินความถูกต้องของโปรแกรมประมวลผลภาพนั้น ทางผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลเครื่องแสดงผลแรงจำนวน 6 โมเดล ดังรูปที่ 15 และการทดลองกับเครื่องมือวัดอื่นๆอีก 6 โมเดล ดังรูปที่ 16 โดยภาพแสดงการทดลองแสดงในรูปที่ 17 โดยเนื่องจากขนาดหน้าจอแสดงผลของแต่ละโมเดลนั้นมีความแตกต่างกัน หากระยะห่างระหว่างกล้องกับหน้าจอมากเกินไปจะทำให้ภาพที่ได้เล็กลง โดยหากระยะใกล้มากก็อาจส่งผลให้เกิดภาพเบลอเนื่องจากไม่พอดีกับระยะโฟกัสของเลนส์ ดังนั้นระหว่างการทำทดลอง เมื่อปรับระยะกล้องให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมแล้วจึงมีการวัดระยะจากหน้ากล้องถึงหน้าจอแสดงผลของแต่ละโมเดลเพื่อบันทึกไว้



รูปที่ 17 การทดลองเก็บข้อมูลด้วยระบบที่พัฒนาขึ้น

เนื่องจากเครื่องแสดงผลแต่ละโมเดลมีความแตกต่างกันทั้งประเภทของหน้าจอแสดงผลรวมถึงรูปแบบตัวอักษร ดังนั้นในการแปรผลรูปภาพเป็นข้อมูลตัวเลขนั้น จะต้องมีการตั้งค่าพารามิเตอร์ให้กับโปรแกรมอย่างเหมาะสม โดยตารางที่ 2 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ป้อนให้กับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสำหรับเครื่องแสดงผลรุ่นต่างๆ โดยพารามิเตอร์ที่สำคัญเช่น

Bright on dark เป็นการบอกลักษณะตัวเลขเทียบกับฉากหลัง โดยหากมีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าที่หน้าจอมีตัวเลขสว่างและฉากหลังมืด และหากค่านี้มีค่าเป็น 0 จะหมายถึงตัวเลขมืดและฉากหลังสว่าง

TreshMin และ TreshMax เป็นการกำหนดช่วงของระดับความเข้มของสีเทาของตัวเลขที่เพื่อการแยกบริเวณพิกซ์เซลที่เป็นตัวเลข ออกจากฉากหลัง

CloseCircle เป็นการเชื่อมต่อบริเวณช่องว่างภายในภาพตัวเลขแต่ละตัวด้วยวงกลมขนาดที่กำหนด ซึ่งอาจขาดออกจากกันเนื่องจากลักษณะจอแสดงผล ทั้งนี้เพื่อให้ส่วนประกอบของตัวเลขตัวเดียวกันมีความเชื่อมต่อกันเป็นพื้นที่ต่อเนื่องกัน

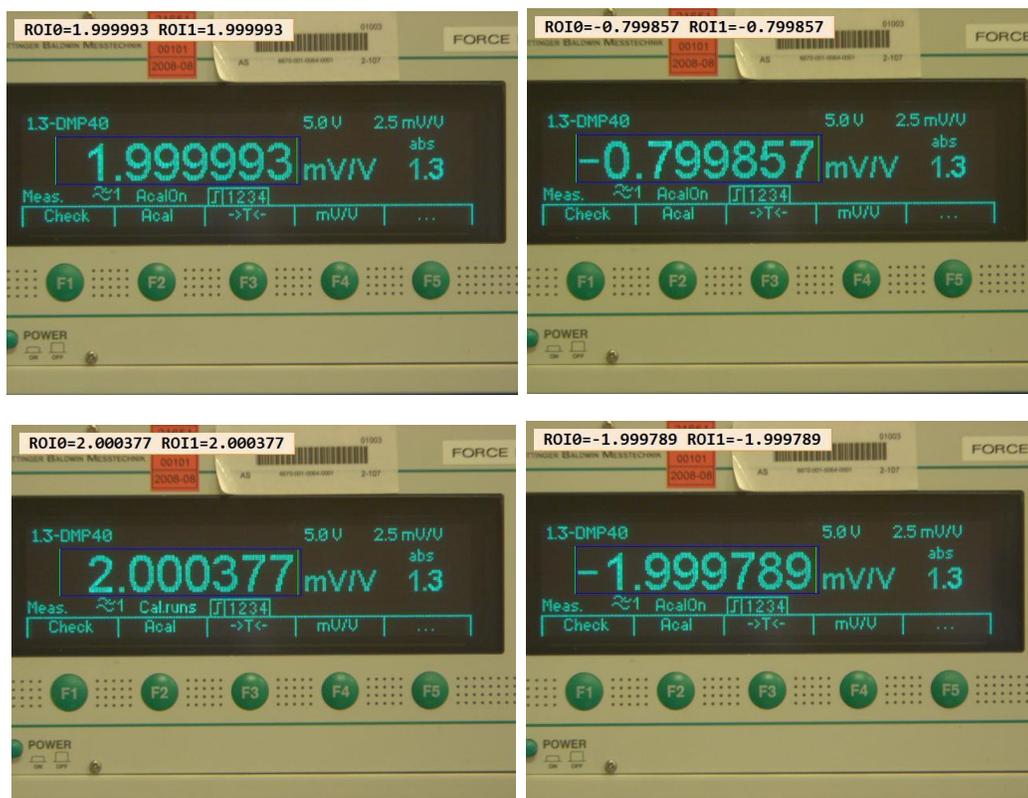
RectWidth และ RectHeight เป็นการเชื่อมต่อช่องว่างภายในภาพตัวเลขแต่ละตัวด้วยสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดที่กำหนด เหมือนกับการเชื่อมต่อด้วย CloseCircle

SlantX เป็นการปรับรูปร่างความเอียงของภาพตัวเลข เช่นหากตัวเลขมีความเอียงจำเป็นต้องทำการปรับมุมของความเอียงให้ภาพตัวเลขอยู่ในแนวตรง ซึ่งจะทำให้การแปรผลมีความถูกต้องมากขึ้นเพื่อให้เหมาะกับฐานข้อมูลตัวเลขที่นำมาใช้ด้วยเทคนิค OCR

ตารางที่ 2. ตัวอย่างการตั้งค่าพารามิเตอร์สำหรับโปรแกรมเพื่อการแปรผลจากเครื่องโมเดลต่างๆ

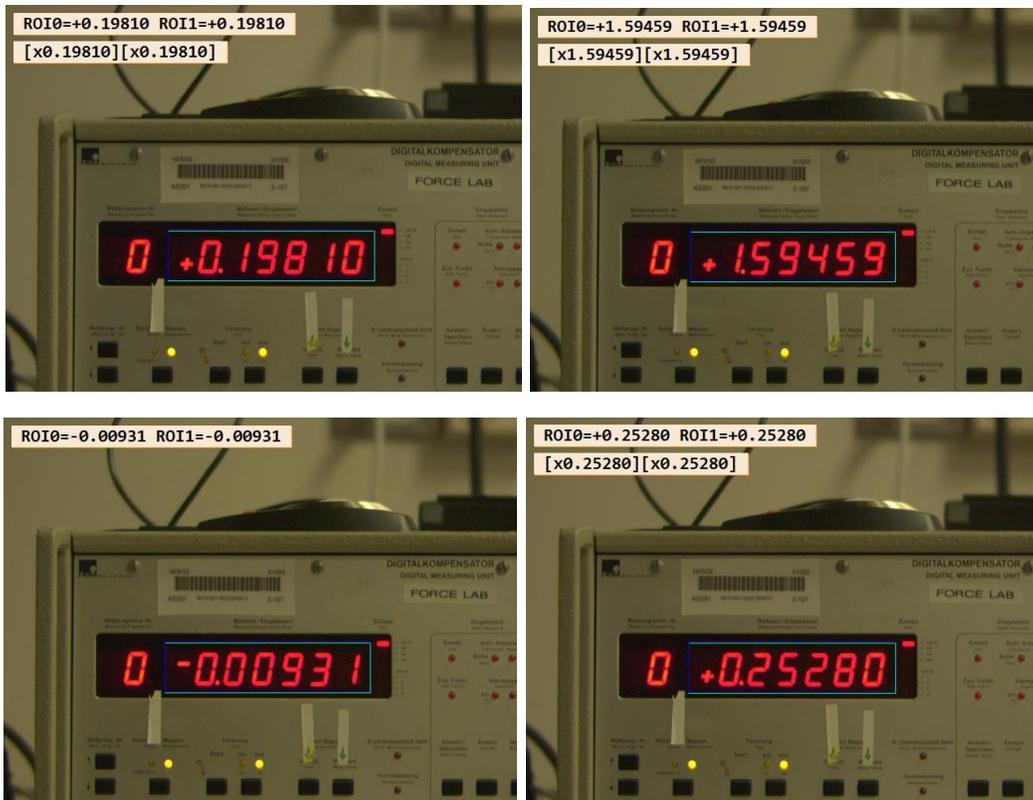
Parameters	DMP40	DK38	MGCplus	SCOUT	GTMvd200k	Interface
BrightOnDark	1	1	0	1	1	1
ThreshMin	0	0	0	0	0	0
ThreshMax	130	180	100	179	200	130
CloseCircle	4	2	2.5	3	2	4
RectWidth	2	2	2	2	2	2
RectHeight	5	10	2	4	10	5
SlantX	0.1	0.1	0	-0.04	0.1	0.1
Parameters	UTM-AGX	UTM-H50ks	Keithley	Almemo	TestoLux	Computer
BrightOnDark	1	1	1	0	0	0
ThreshMin	0	0	0	0	0	0
ThreshMax	100	110	190	55	35	100
CloseCircle	2	2.5	3	3	3	3
RectWidth	2	2	3	3	3	3
RectHeight	5	2	5	10	5	3
SlantX	0.05	0	0	-0.05	0	-0.05

ตัวอย่างผลการทดลองกับเครื่องแสดงผลรุ่น HBM-DMP40 แสดงในรูปที่ 18 โดยมีระยะห่างระหว่างกล้องกับหน้าจอเครื่องแสดงผล 65 เซนติเมตร โดยเครื่องรุ่นนี้มีหน้าจอแสดงผลแบบ LED dot-matrix ซึ่งมีตัวเลขเป็นสีเขียวบนฉากหลังมืด จากภาพจะเห็นได้ว่า เมื่อโปรแกรมแปลผลภาพตัวเลขแล้ว จะพิมพ์ข้อความผลที่ได้ไว้ที่มุมบนซ้ายของภาพ ซึ่งจากตัวอย่าง มีการเลือกพื้นที่ การอ่านได้อย่างถูกต้อง โดยได้ข้อสรุปจากจำนวนภาพที่ทดลองว่า หากภาพถ่ายที่บันทึกมามีคุณภาพที่ดีและไม่มีภาพซ้อนกันของตัวเลข จะทำให้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นให้ค่าที่ถูกต้อง 100%



รูปที่ 18 ผลการทดลองเก็บข้อมูลจากเครื่อง DMP 40

ตัวอย่างผลการทดลองกับเครื่องแสดงผลรุ่น HBM-DK38 แสดงในรูปที่ 19 โดยมีระยะห่างระหว่างกล้องกับหน้าจอเครื่องแสดงผล 80 เซนติเมตร โดยเครื่องรุ่นนี้มีหน้าจอแสดงผลแบบ LED 7-segment ซึ่งมีตัวเลขเป็นสีสว่างบนฉากหลังมืด และตัวเลขอยู่ในแนวเอียง โดยจะเห็นได้ว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถแปรผลภาพตัวเลขได้อย่างถูกต้อง



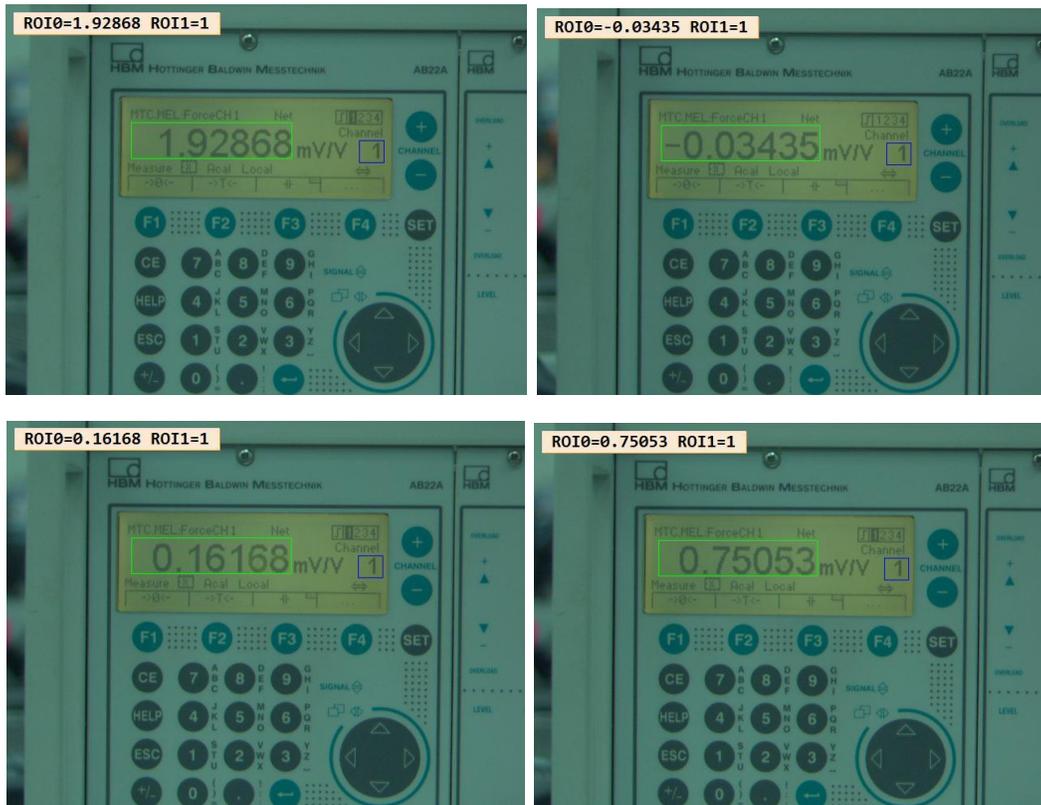
รูปที่ 19 ผลการทดลองเก็บข้อมูลจากเครื่อง HBM-DK-38

ตัวอย่างผลการทดลองที่กับเครื่องแสดงผลรุ่น Interface-9480 แสดงในรูปที่ 20 โดยมีระยะห่างระหว่างกล่องกับหน้าจอเครื่องแสดงผล 55 เซนติเมตร โดยเครื่องรุ่นนี้มีหน้าจอแสดงผลแบบ LED dot-matrix ซึ่งมีตัวเลขเป็นสีเขียวบนฉากหลังมืด ซึ่งจะเห็นได้ว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถแปรผลภาพตัวเลขได้อย่างถูกต้องเช่นกัน



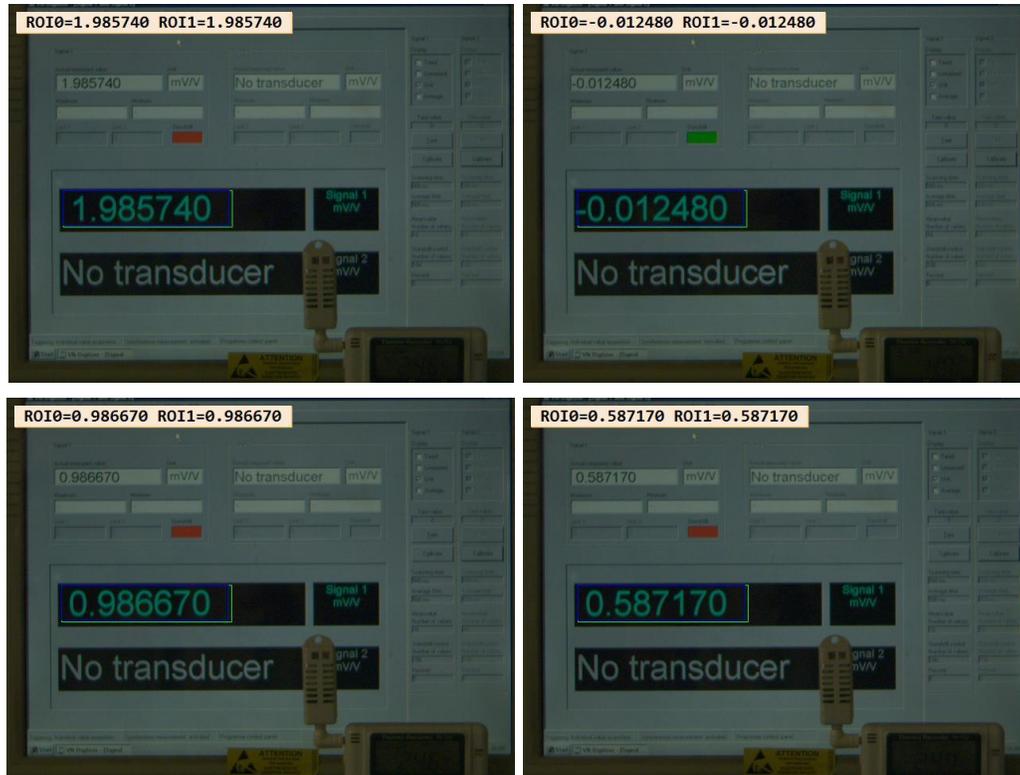
รูปที่ 20 ผลการทดลองเก็บข้อมูลจากเครื่อง Interface-9480

ตัวอย่างผลการทดลองที่เก็บกับเครื่องแสดงผลรุ่น HBM-MGCplus แสดงในรูปที่ 21 โดยมีระยะห่างระหว่างกล่องกับหน้าจอเครื่องแสดงผล 50 เซนติเมตร โดยเครื่องรุ่นนี้มีหน้าจอแสดงผลแบบ LCD dot-matrix ซึ่งมีตัวเลขเป็นสีดำมีคบนฉากหลังสว่าง จะเห็นได้ว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถแปรผลภาพตัวเลขได้อย่างถูกต้องเช่นกัน



รูปที่ 21 ผลการทดลองเก็บข้อมูลจากเครื่อง HBM-MGCplus

ตัวอย่างผลการทดลองที่กับเครื่องแสดงผลรุ่น GTM-VD200k แสดงในรูปที่ 22 โดยมีระยะห่างระหว่างกล้องกับหน้าจอเครื่องแสดงผล 95 เซนติเมตร โดยเครื่องรุ่นนี้มีหน้าจอแสดงผลแบบ LCD computer display ซึ่งมีตัวเลขเป็นสีสว่างบนฉากหลังมืด จะเห็นได้ว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถแปรผลภาพตัวเลขได้อย่างถูกต้องเช่นกัน



รูปที่ 22 ผลการทดลองเก็บข้อมูลจากเครื่อง GTM-VD200k

ตัวอย่างผลการทดลองกับเครื่องแสดงผลรุ่น HBM-Scout55 แสดงในรูปที่ 23 โดยมีระยะห่างระหว่างกล่องกับหน้าจอเครื่องแสดงผล 52 เซนติเมตร โดยเครื่องรุ่นนี้มีหน้าจอแสดงผลแบบ LED multi-segment ซึ่งมีตัวเลขเป็นสีเขียวบนฉากหลังมืด โดยจะเห็นได้ว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถแปรผลภาพตัวเลขได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 23 ผลการทดลองเก็บข้อมูลจากเครื่อง HBM-Scout55

ตัวอย่างผลการทดลองกับเครื่อง UTM รุ่น Shimadzu-AG-X แสดงในรูปที่ 24 โดยมีระยะห่างระหว่างกล้องกับหน้าจอเครื่องแสดงผล 55 เซนติเมตร โดยเครื่องรุ่นนี้มีหน้าจอแสดงผลแบบ LED 7-segment ซึ่งมีตัวเลขเป็นสีสว่างบนฉากหลังมืด โดยจะเห็นว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ในการอ่านค่าแรง และค่าตำแหน่ง ได้พร้อมๆ กัน โดยสามารถแปรผลภาพตัวเลขได้อย่างถูกต้อง



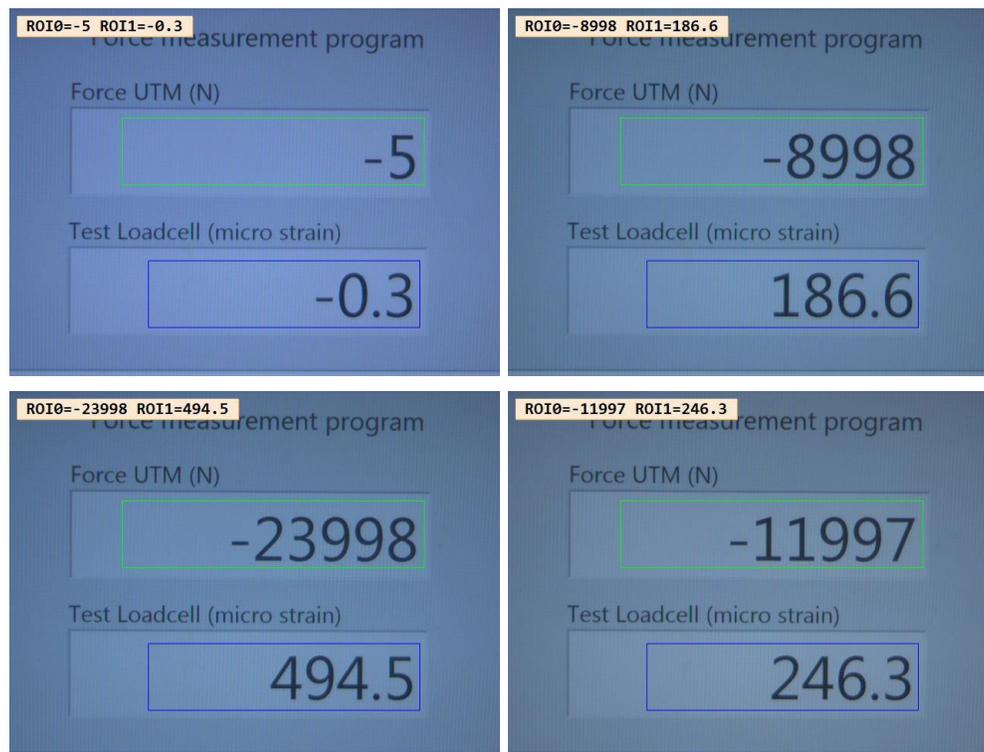
รูปที่ 24 ผลการทดลองเก็บข้อมูลจากเครื่อง UTM รุ่น Shimadzu-AG-X

ตัวอย่างผลการทดลองกับเครื่อง UTM รุ่น Hounsfield H50KS แสดงในรูปที่ 25 โดยมีระยะห่างระหว่างกล่องกับหน้าจอเครื่องแสดงผล 50 เซนติเมตร โดยเครื่องรุ่นนี้มีหน้าจอแสดงผลแบบ LCD dot-matrix ซึ่งมีตัวเลขเป็นสีสว่างบนฉากหลังมืด โดยจะเห็นได้ว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ในการอ่านค่าแรง และค่าตำแหน่ง ได้พร้อมๆ กัน โดยสามารถแปรผลภาพตัวเลขได้อย่างถูกต้อง



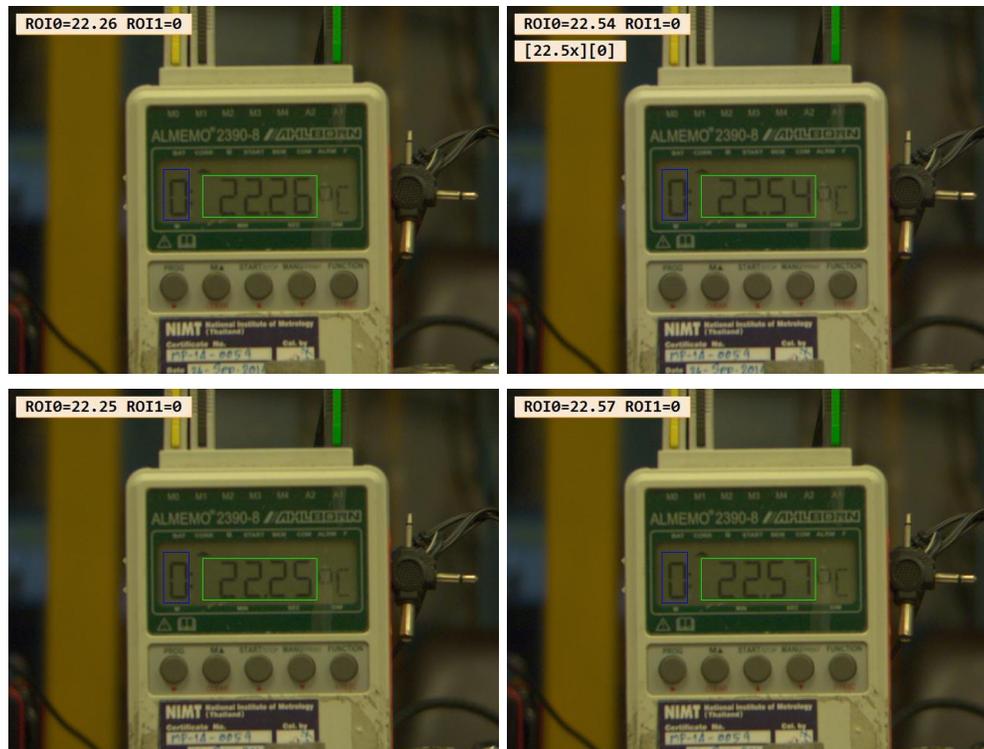
รูปที่ 25 ผลการทดลองเก็บข้อมูลจากเครื่อง UTM รุ่น Hounsfield H50KS

ตัวอย่างผลการทดลองที่กับเครื่องวัดสเตรน NI-9237 ผ่านจอคอมพิวเตอร์ แสดงในรูปที่ 26 โดยมีระยะห่างระหว่างกล่องกับหน้าจอเครื่องแสดงผล 75 เซนติเมตร โดยเครื่องรุ่นนี้มีหน้าจอแสดงผลแบบ LCD computer display ซึ่งมีตัวเลขเป็นสีดำบนฉากหลังสว่าง โดยจะเห็นได้ว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ในการอ่านค่าแรงที่สร้างขึ้นจากเครื่อง UTM รุ่น Hounsfield H50KS และค่าความเครียดที่อ่านได้จาก NI-9237 ได้พร้อมๆกัน โดยสามารถแปรผลภาพตัวเลขได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 26 ผลการทดลองเก็บข้อมูลจากเครื่องวัดสเตรน NI-9237 ผ่านจอคอมพิวเตอร์

ตัวอย่างผลการทดลองกับเครื่องวัดอุณหภูมิความชื้น Almemo-2390-8 แสดงในรูปที่ 27 โดยมีระยะห่างระหว่างกล่องกับหน้าจอเครื่องแสดงผล 80 เซนติเมตร โดยเครื่องรุ่นนี้มีหน้าจอแสดงผลแบบ LCD 7-segment ซึ่งมีตัวเลขเป็นสีมีดบนฉากหลังสว่าง โดยจะเห็นได้ว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถแปรผลภาพตัวเลขได้อย่างถูกต้อง



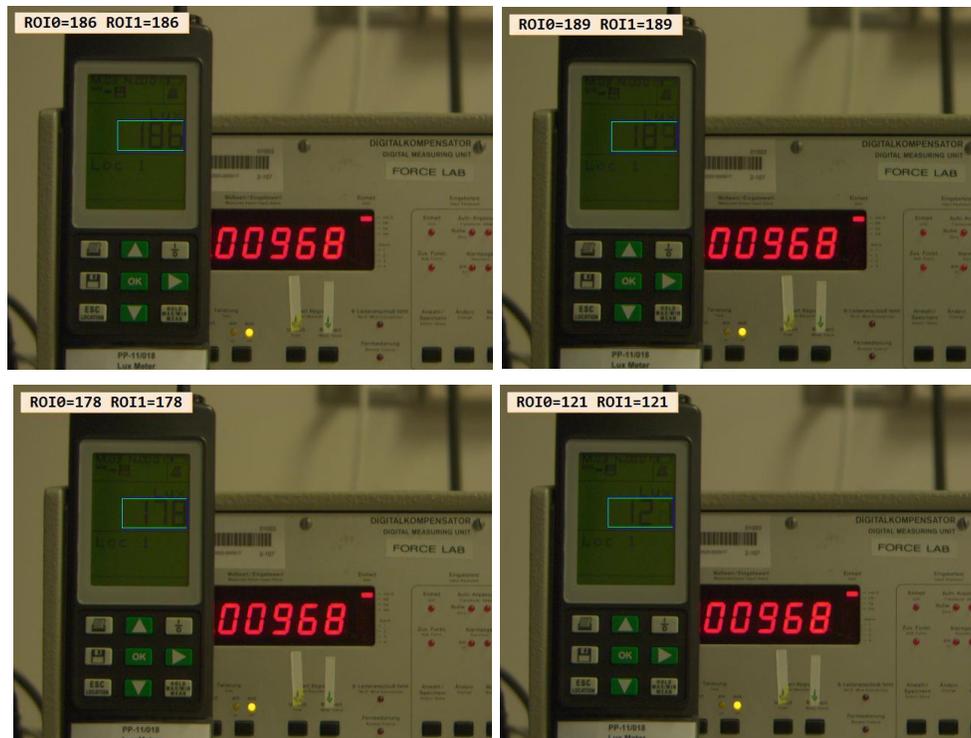
รูปที่ 27 ผลการทดลองเก็บข้อมูลจากเครื่อง เครื่องวัดอุณหภูมิความชื้น Almemo-2390-8

ตัวอย่างผลการทดลองกับจากมัลติมิเตอร์รุ่น Keithley-2000 แสดงในรูปที่ 28 โดยมี
 ระยะห่างระหว่างกล้องกับหน้าจอเครื่องแสดงผล 50 เซนติเมตร โดยเครื่องรุ่นนี้มี
 หน้าจอแสดงผลแบบ LED 7-segment ซึ่งมีตัวเลขเป็นสีเขียวบนฉากหลังมืด โดยจะ
 เห็นได้ว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถแปรผลภาพตัวเลขได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 28 ผลการทดลองเก็บข้อมูลจากมัลติมิเตอร์รุ่น Keithley-2000

ตัวอย่างผลการทดลองกับเครื่องวัดความสว่าง Light meter รุ่น TESTO-545 แสดงในรูปที่ 29 โดยมีระยะห่างระหว่างกล้องกับหน้าจอเครื่องแสดงผล 80 เซนติเมตร โดยเครื่องรุ่นนี้มีหน้าจอแสดงผลแบบ LCD 7-segment ซึ่งมีตัวเลขเป็นสีมีดบนฉากหลังสว่าง โดยจะเห็นได้ว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถแปรผลภาพตัวเลขได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 29 แสดงตัวอย่างผลการทดลองเก็บข้อมูลจาก Light meter รุ่น TESTO-545

7.3 การศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อความถูกต้อง

ในการทดสอบเพื่อหาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อความถูกต้องของระบบนั้นเป็นการทดลองเพื่อตรวจสอบว่าระบบที่พัฒนาขึ้น นี้มีความทนทาน สามารถนำไปใช้กับสถานะที่เปลี่ยนไปต่างๆได้อย่างไร โดยตารางที่ 3 แสดงการทดลองระบบภายใต้การเปลี่ยนแปลงด้านแสงสว่างและระยะห่างระหว่างกล้องกับหน้าจอแสดงผล โดยระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถนำมาใช้ในทุกสถานะที่ทำการทดลองได้

ตารางที่ 3. การทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้นภายใต้สถานะแวดล้อมที่ต่างกัน

Indicator	Distance (cm)	Illuminance (lux)
HBM-DMP40	65	23
	65	75
	70	80
	80	23
HBM-MGCplus	45	150
	50	-
HBM-Scout55	52	-
	56	-
	58	-
GTM-VD200k	95	15

จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถนำไปใช้อ่านค่าจากหน้าจอแสดงผลประเภทต่างๆได้ อีกทั้งยังมีความทนทานต่อสถานะแวดล้อมที่เปลี่ยนไป โดยสำหรับเครื่องแสดงผลโมเดล DMP40 นั้น มีการทดลองที่ระยะห่างระหว่างกล้องถึงหน้าจอตั้งแต่ 65 ถึง 80 cm โดยที่ความสว่างบริเวณใกล้เคียงกับเครื่องแสดงผลมีค่าตั้งแต่ 23 ถึง 80 lux ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างทำได้โดยการปิดไฟภายในห้องทดลองบางส่วน โดยแม้จะปิดไฟมืดก็ตาม ระบบที่พัฒนาขึ้นก็ยังบันทึกผลได้อย่างชัดเจน เนื่องจากหน้าจอเป็นแบบ LED-dot matrix ตัวอักษรสว่างบนฉากหลังมืด

สำหรับเครื่องโมเดล MGCplus นั้นมีการทดสอบที่ระยะห่าง 45 และ 50 cm โดยมีค่าความสว่างของห้องค่อนข้างมาก ถึง 150 lux ทั้งนี้เนื่องจากหน้าจอแสดงผลเป็นแบบ LCD โดยมีตัวอักษรมืดฉากหลังสว่าง แต่เนื่องจากตัวเครื่องมีฉากหลังไม่สว่างมากนัก ทำให้จำเป็นต้องทดลองภายใต้ห้องที่มีความสว่างมากน้อยเพื่อให้เห็นได้ชัดเจน

สำหรับเครื่องโมเดล Scout 55 นั้นมีหน้าจอแบบ LED-multi-segment ด้วยตัวอักษรสว่างและฉากหลังมืด ดังนั้นระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถ บันทึกข้อมูลจากเครื่องโมเดลนี้ได้แม้ความสว่างห้องไม่มากนัก โดยระยะห่างที่ได้ทำการทดลองตั้งแต่ 52 ถึง 58 cm.

สำหรับเครื่องโมเดล VD200k นั้นมีหน้าจอแบบ LCD-computer-screen โดยตัวอักษรสว่างฉากหลังมืด ซึ่งจะสามารถใช้กับสภาวะห้องที่สว่างน้อยได้ โดยในตัวอย่างการทดลองนี้มีระยะห่างจากกล้องถึงหน้าจอ 95 cm

จากผลการทดลองพบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้มีความทนทานต่อสภาวะด้านความสว่างและระยะห่างที่เปลี่ยนแปลงดี โดยปัจจัยด้านความสว่างนั้น ทางผู้วิจัยได้มีการทดลองภายใต้สภาวะห้องที่มีการเปลี่ยนแปลงความสว่างเนื่องจากแสงอาทิตย์ โดยทดสอบระบบบริเวณใกล้เคียงหน้าต่าง พบว่าระบบนี้ยังสามารถใช้งานได้อย่างถูกต้อง อย่างไรก็ตามหากความสว่างมากเกินไปหรือน้อยเกินไปก็อาจส่งผลกระทบต่อความถูกต้องได้ ทั้งนี้ควรมีการตั้งค่าพารามิเตอร์ของโปรแกรมอื่นๆให้เหมาะสมด้วย เพื่อให้ได้ค่าความถูกต้องสูงสุด

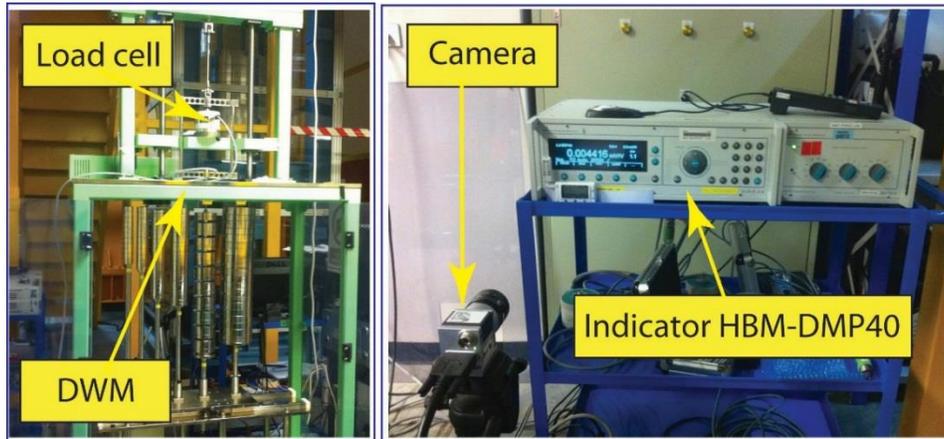
สำหรับปัจจัยด้านลักษณะการสร้างแรง หรือหมายถึงเครื่องสอบเทียบที่ใช้ ซึ่งมีการสร้างแรงแต่ค่าที่ได้อาจไม่นิ่ง มีความแตกต่างกันไปขึ้นกับเครื่องมาตรฐานที่ใช้ โดยหากค่าที่แสดงผลที่หน้าจอไม่นิ่งซึ่งมีสาเหตุจากลักษณะการสร้างแรง และอาจเกิดจากความเสถียรของเครื่องวัดแรงเอง จะทำให้ภาพที่บันทึกมาเกิดสภาวะเลขซ้อนได้ ซึ่งสามารถแก้ได้โดยการปรับค่าเวลาการเปิดหน้ากล้องให้เหมาะสม และการบันทึกภาพซ้ำหลายครั้ง จะช่วยให้เพิ่มโอกาสของการมีภาพที่สมบูรณ์และไม่เกิดเลขซ้อนได้

โดยสรุปแล้ว ระบบที่พัฒนาขึ้นให้ความถูกต้องสูงมากกว่า 95% หากมีการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม และยังมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมด้านความสว่าง ซึ่งทำให้ระบบนี้เหมาะในการนำไปใช้ในการบันทึกผลการสอบเทียบจริง

7.4 การทดลองบันทึกผลสอบเทียบตามมาตรฐาน ISO376

เพื่อทดสอบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้ในการบันทึกผลการสอบเทียบจริงได้ ทางผู้วิจัยจึงนำระบบบันทึกข้อมูลด้วยภาพถ่ายที่พัฒนาขึ้น มาใช้ในการบันทึกข้อมูลการสอบเทียบแรงตามมาตรฐาน ISO 376 โดยมีการบันทึกผลเปรียบเทียบระหว่างการบันทึกด้วยคนกับการบันทึกข้อมูลด้วยระบบที่พัฒนาขึ้น

รูปที่ 30 แสดงภาพการสอบเทียบเครื่องวัดแรงด้วย Deadweight force standard machine (DWM) ซึ่งอยู่ระหว่างการพัฒนาโดยสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ โดยเครื่องแสดงผลที่ใช้เป็นเครื่องโมเดล DMP40 โดยผลการบันทึกข้อมูลการสอบเทียบแสดงในตารางที่ 4 และ 5



รูปที่ 30 การสอบเทียบโหลดเซลล์ด้วยเครื่อง DWM และจอแสดงผลโมเดล DMP40

ตารางที่ 4 แสดงผลการบันทึกข้อมูลการสอบเทียบด้วยคน โดยมีเครื่องแสดงผลรุ่น DMP40 เป็นเครื่องที่ใช้ในการทดลอง โดยมีการสอบเทียบตามมาตรฐาน ISO376 ด้วยแรง ขนาดต่างๆ ตั้งแต่ 0 ถึง 100 N ซึ่งผลการอ่านค่าด้วยโพลดเซลและเครื่องแสดงผลมีค่า แปรเปลี่ยนตั้งแต่ 0 ถึง 2 mV/V

ตารางที่ 4. การบันทึกค่าด้วยคนในการสอบเทียบด้วย DWM เครื่องแสดงผลรุ่น DMP40

Force	0°		120°		240°	
(N)	X1	X2	X3	X'4	X5	X'6
0	0.000000	0.000000	0.000000	0.000020	0.000000	0.000046
10	0.199998	0.200280	0.200479	0.200467	0.200197	0.200530
20	0.399947	0.400114	0.400350	0.400463	0.400109	0.400138
30	0.599856	0.600004	0.600346	0.600395	0.599973	0.600082
40	0.799768	0.799921	0.800251	0.800325	0.799891	0.799982
50	0.999686	0.999852	1.000164	1.000234	0.999809	0.999907
60	1.199589	1.199781	1.200108	1.200139	1.199721	1.199856
70	1.399512	1.399641	1.400001	1.400028	1.399641	1.399710
80	1.599423	1.599531	1.599875	1.599904	1.599510	1.599553
90	1.799300	1.799392	1.799763	1.799776	1.799362	1.799418
100	1.999197	1.999287	1.999632	-	1.999263	-
0	0.000048	0.000049	-	-	-	-

ตารางที่ 5 แสดงผลการบันทึกค่าด้วยระบบ Machine Vision (MV) ที่พัฒนาขึ้น โดยจาก ตารางที่ 4 และ 5 จะเห็นได้ว่าค่าที่บันทึกได้มีความใกล้เคียงกันมาก ตัวอย่างเช่น ซีรี่ x1 ที่ แรง 40 นิวตัน ค่าที่ได้จากการบันทึกด้วยคนคือ 0.799768 ส่วนระบบ MV ได้ค่า 0.799771 ซึ่งค่าทั้งสองไม่เท่ากันเนื่องจากระหว่างบันทึกข้อมูลการแกว่งตัวของกอน้ำหนักรวมทั้ง ความไม่เสถียรของเครื่องมือวัดทำให้ค่าแรงที่วัดได้มีความแกว่งตัวเล็กน้อย อีกทั้งเวลาที่คน บันทึกกับกล้องจับภาพไม่ได้เป็นเวลาเดียวกันพอดีทำให้ค่าที่อ่านได้มีความแตกต่างกัน ใน การพิจารณาว่าค่าที่บันทึกได้มีความผิดปกติหรือไม่ จะง่ายขึ้นหากนำมาพล็อตกราฟ ดัง แสดงในรูปที่ 31 และ 32

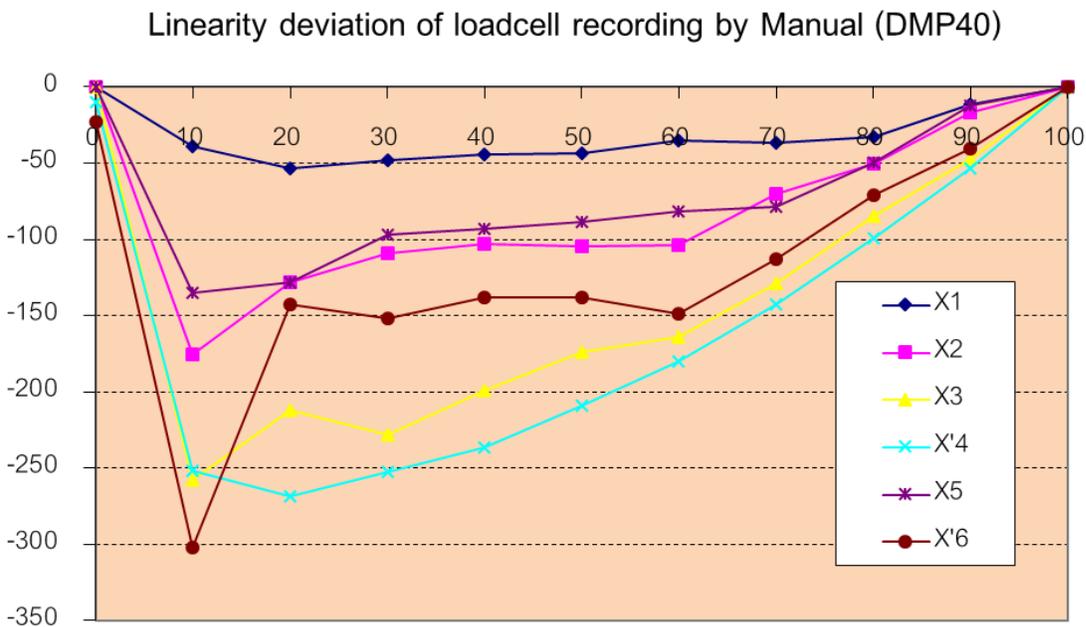
ตารางที่ 5. การบันทึกค่าด้วยระบบ MV ในการสอบเทียบด้วย DWM เครื่องแสดงผลรุ่น

DMP40

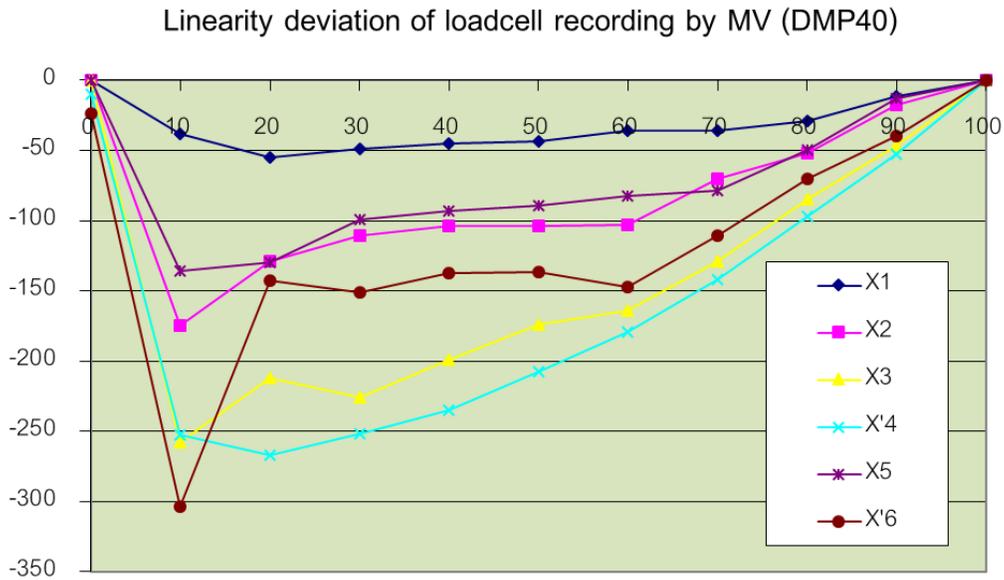
Force	0°		120°		240°	
(N)	X1	X2	X3	X'4	X5	X'6
0	0.000000	0.000000	0.000000	0.000020	0.000000	0.000047
10	0.199997	0.200278	0.20048	0.200468	0.200198	0.200534
20	0.399951	0.400116	0.400351	0.400462	0.400113	0.400139
30	0.599858	0.600008	0.600343	0.600394	0.599979	0.600082
40	0.799771	0.799924	0.800253	0.800325	0.799894	0.799982
50	0.999689	0.999853	1.000166	1.000234	0.999812	0.999907
60	1.199593	1.19978	1.20011	1.20014	1.199725	1.199856
70	1.399514	1.399644	1.400004	1.400029	1.399645	1.399709
80	1.599421	1.599536	1.599879	1.599903	1.599513	1.599555
90	1.799305	1.799397	1.799766	1.799778	1.799368	1.799421
100	1.999203	1.99929	1.999637	-	1.999268	-
0	0.000047	0.000052	-	-	-	-

รูปที่ 31 แสดงความเบี่ยงไปจากเส้นตรงของผลการวัดของโหลดเซลล์ ซึ่งคำนวณจากตารางที่ 4 ซึ่งเป็นค่าที่บันทึกมาด้วยคน โดยแกน x ของกราฟแสดงแรงที่กดโหลดเซลล์ ส่วนแกน y แสดงค่าเบี่ยงเบนไปจากเส้นตรงที่เชื่อมต่อระหว่างค่าที่แรงเป็นศูนย์และค่าแรงสูงสุดที่กดในระหว่างการสอบเทียบในแต่ละซีรีส์ โดยหน่วยของความเบี่ยงเบนนี้แสดงในรูปสัดส่วนสัมพัทธ์ (ppm หรือ ส่วนในล้านส่วน)

รูปที่ 32 แสดงความเบี่ยงไปจากเส้นตรงของผลการวัดของโหลดเซลล์ ซึ่งคำนวณจากตารางที่ 5 ซึ่งเป็นค่าที่บันทึกมาด้วยระบบ MV ที่พัฒนาขึ้น โดยจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าแนวโน้มของกราฟในรูปที่ 31 และ 32 มีความใกล้เคียงกันมาก แสดงว่าระบบ MV ให้ผลการบันทึกที่ถูกต้อง อย่างไรก็ตามหากมีการบันทึกที่ผิดพลาดที่จุดใดจุดหนึ่งจะทำให้เกิดความเบี่ยงเบนอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับจุดอื่นๆ

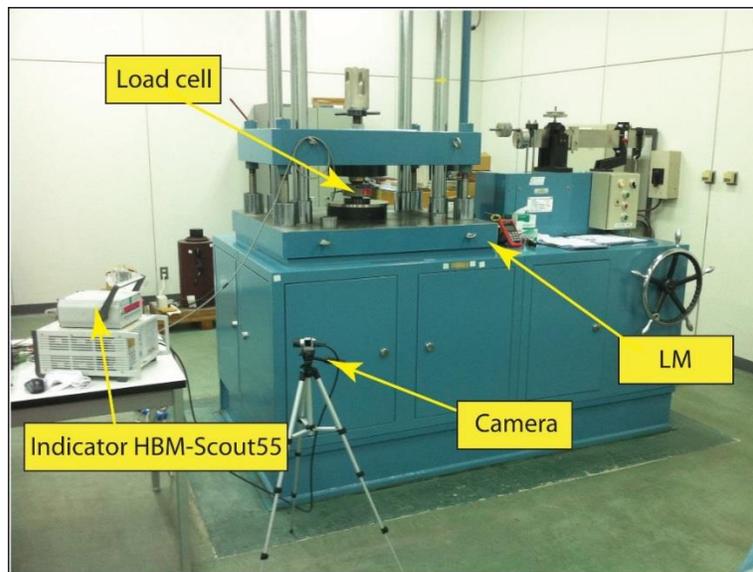


รูปที่ 31. Linearity deviation of load cell calculated from manually recording data on DMP40



รูปที่ 32. Linearity deviation of load cell calculated from MV recording data on DMP40

รูปที่ 33 แสดงการสอบเทียบอีกระบบหนึ่ง โดยในการทดลองนี้เป็นการการสอบเทียบเครื่องวัดแรงขนาด 100 kN ด้วย Lever machine (LM) โดยเครื่องแสดงผลที่ใช้เป็นโมเดล HBM-Scout55 โดยผลการบันทึกข้อมูลการสอบเทียบด้วยคนแสดงในตารางที่ 6 และ ผลการบันทึกด้วยระบบ MV แสดงในตารางที่ 7



รูปที่ 33. Calibration of load cell with indicator Scout55 using Lever machine (LM)

ตารางที่ 6 และ 7 แสดงผลการบันทึกค่าด้วยคนและ ระบบ Machine Vision (MV) ตามลำดับ โดยการทดลองนี้ได้ใช้เครื่อง Lever machine (LM) ในการสอบเทียบโหลดเซลล์ขนาดพิกัด 100kN ตามมาตรฐาน ISO376 โดยมีจอแสดงผลเป็นรุ่น Scout55 โดยจากตารางที่ 6 และ 7 จะเห็นได้ว่าค่าที่บันทึกได้มีความใกล้เคียงกัน ตัวอย่างเช่นซีรีส์ x1 ที่แรง 30 kN ค่าที่ได้จากการบันทึกด้วยคนคือ 0.58861 ส่วนระบบ MV ได้ค่า 0.58833 ซึ่งค่าทั้งสองไม่เท่ากันและมีความแตกต่างกันมากกว่าผลการสอบเทียบในตารางที่ 4 และ 5 เนื่องเครื่อง LM มีผลจากการแกว่งตัวของก้อนน้ำหนักมากกว่า และจอแสดงผลรุ่น Scout55 มีค่า instability มากกว่า เครื่องรุ่น DMP40 ดังนั้นในการพิจารณาว่าค่าที่บันทึกได้มีความผิดปกติหรือไม่ จะแสดงด้วยกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 34 และ 35

ตารางที่ 6. การบันทึกค่าด้วยคนในการสอบเทียบด้วย LM เครื่องแสดงผลรุ่น Scout55

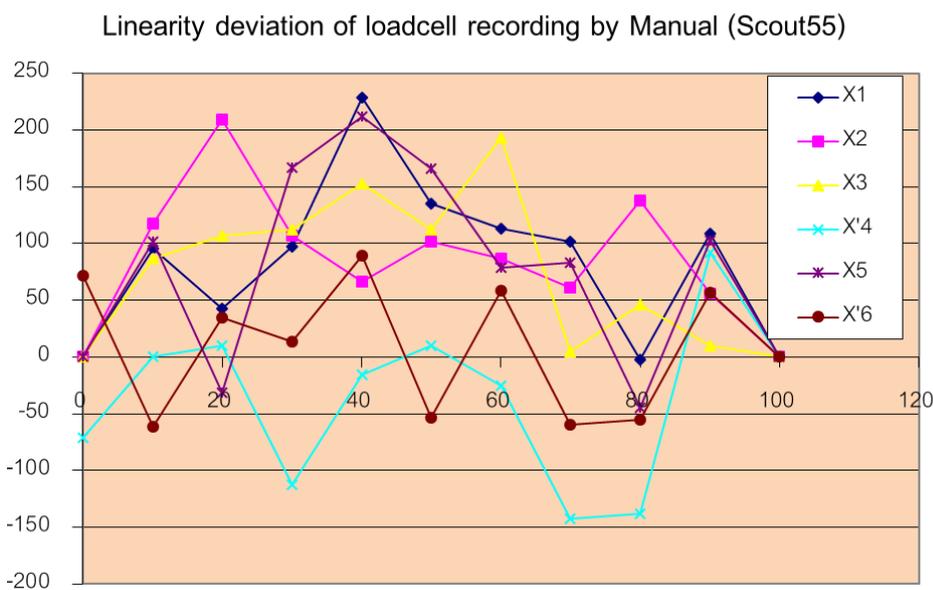
Force (kN)	0°		120°		240°	
	X1	X2	X3	X'4	X5	X'6
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00014	0.00000	-0.00014
10	0.19608	0.19601	0.19607	0.19624	0.19605	0.19637
20	0.39245	0.39207	0.39227	0.39246	0.39256	0.39243
30	0.58861	0.58851	0.58850	0.58894	0.58842	0.58872
40	0.78462	0.78483	0.78466	0.78499	0.78458	0.78482
50	0.98107	0.98100	0.98098	0.98118	0.98092	0.98135
60	1.17738	1.17727	1.17706	1.17749	1.17734	1.17738
70	1.37367	1.37356	1.37367	1.37396	1.37358	1.37386
80	1.57014	1.56965	1.56983	1.57019	1.57008	1.57010
90	1.76619	1.76605	1.76614	1.76598	1.76604	1.76613
100	1.96267	1.96240	1.96240		1.96249	
0	0.00020	0.00023				

ตารางที่ 7. การบันทึกค่าด้วยระบบ MV ในการสอบเทียบด้วย LM เครื่องแสดงผลรุ่น Scout55

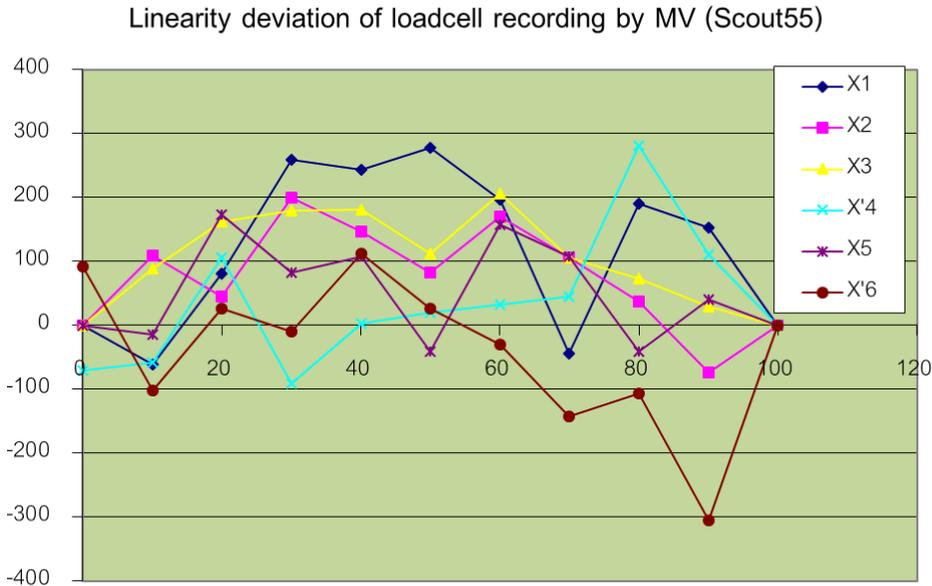
Force	0°		120°		240°	
(kN)	X1	X2	X3	X'4	X5	X'6
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00014	0.00000	-0.00018
10	0.19640	0.19602	0.19607	0.19636	0.19625	0.19642
20	0.39240	0.39238	0.39217	0.39228	0.39210	0.39239
30	0.58833	0.58831	0.58838	0.58891	0.58850	0.58868
40	0.78464	0.78465	0.78462	0.78497	0.78467	0.78466
50	0.98085	0.98101	0.98100	0.98118	0.98118	0.98105
60	1.17729	1.17707	1.17706	1.17740	1.17701	1.17738
70	1.37404	1.37343	1.37350	1.37362	1.37333	1.37382
80	1.56986	1.56980	1.56981	1.56940	1.56984	1.56997
90	1.76621	1.76625	1.76614	1.76598	1.76590	1.76658
100	1.96279	1.96234	1.96244		1.96220	
0	0.00014	0.00009				

รูปที่ 34 แสดงความเบี่ยงไปจากเส้นตรงของผลการวัดของโหลดเซลล์ ซึ่งคำนวณจากตารางที่ 6 ซึ่งเป็นค่าที่บันทึกมาด้วยคน โดยแกน x ของกราฟแสดงแรงที่กดโหลดเซลล์ ส่วนแกน y แสดงค่าเบี่ยงเบนไปจากเส้นตรงที่เชื่อมต่อระหว่างค่าที่แรงเป็นศูนย์และค่าแรงสูงสุดที่กดในระหว่างการสอบเทียบในแต่ละซีรีส์ โดยหน่วยของความเบี่ยงเบนนี้แสดงในรูปสัดส่วนสัมพัทธ์ (ppm หรือ ส่วนในล้านส่วน) โดยจากรูปที่ 34 พบว่าความเบี่ยงเบนจากเส้นตรงอยู่ในช่วงตั้งแต่ -150 ถึง +250 ppm

รูปที่ 35 แสดงความเบี่ยงไปจากเส้นตรงของผลการวัดของโหลดเซลล์ ซึ่งคำนวณจากตารางที่ 7 ซึ่งเป็นค่าที่บันทึกมาด้วยระบบ MV ที่พัฒนาขึ้น โดยจากรูปที่ 35 พบว่าความเบี่ยงเบนจากเส้นตรงอยู่ในช่วงตั้งแต่ -300 ถึง +300 ppm ทั้งนี้แนวโน้มของกราฟในรูปที่ 34 และ 35 มีรูปแบบคล้ายกัน แสดงว่าระบบ MV ให้ผลการบันทึกที่ถูกต้อง



รูปที่ 34. Linearity deviation of load cell calculated from manually recording data on Scout55



รูปที่ 35. Linearity deviation of load cell calculated from MV recording data on Scout55

8. สรุปผล

1. ระบบบันทึกผลการสอบเทียบแรงด้วยเทคโนโลยีภาพที่ได้พัฒนาขึ้นนี้สามารถใช้ในการแปรผลจากภาพถ่ายหน้าจอเครื่องวัดแรงหลากหลายรุ่น ได้อย่างถูกต้อง
2. ระบบที่พัฒนาขึ้นมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสถานะแวดล้อมที่ดี ทำให้สามารถใช้ได้ในที่ที่มีความสว่างน้อยไปจนถึงความสว่างมาก อีกทั้งยังใช้ได้อย่างถูกต้องที่ระยะห่างหลากหลายได้ด้วย
3. การแกว่งตัวของค่าแรงที่แสดงผลเมื่อมีการจ่ายแรงให้โหลดเซลล์นั้นมีผลมาจากหลายปัจจัย ทั้งจากกลไกของตัวเครื่องสอบเทียบมาตรฐาน รวมไปถึงคุณสมบัติ Instability ของโหลดเซลล์และเครื่องแสดงผล
4. ข้อมูลที่บันทึกจากระบบที่พัฒนาขึ้นมีการแปรผลและบันทึกลงไฟล์ได้อย่างถูกต้อง ทำให้สามารถช่วยในการรับประกันความถูกต้องในกระบวนการบันทึกและประมวลผลข้อมูลการสอบเทียบแรงได้ อย่างไรก็ตาม หากมีความไม่แน่ใจในข้อมูลที่ได้นับบันทึกไว้ ผู้ทำการสอบเทียบสามารถย้อนกลับไปดูไฟล์ภาพเพื่อตรวจสอบความถูกต้องได้

5. จากผลการทดลองพบว่า การทับซ้อนกันของตัวเลขเป็นปัจจัยหลักที่อาจส่งผลต่อการเก็บข้อมูลด้วยวิธีนี้ ดังนั้นควรมีการตั้งค่า Exposure time ให้เหมาะสมกับหน้าจอแสดงผลที่ใช้ และควรมีการบันทึกภาพหลายๆภาพ ในแต่ละสแต็ปแรงที่ทำการสอบเทียบเพื่อเพิ่มโอกาสในการได้ผลการบันทึกที่ถูกต้อง
6. จากผลการทดลองพบว่า ภาพถ่ายที่ไม่มีปัญหาการทับซ้อนกันของตัวเลขนั้น ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถแปรผลได้อย่างถูกต้อง 100% ดังนั้นระบบที่พัฒนาขึ้นนี้จึงมีความเหมาะสมในการนำมาใช้บันทึกข้อมูลการสอบเทียบแรง อย่างไรก็ตาม ความถูกต้องของระบบขึ้นกับหลายพารามิเตอร์ที่ต้องป้อนให้กับโปรแกรม ดังนั้นผู้ใช้งานควรตรวจสอบความถูกต้องในการแปรผลก่อนการใช้ในการสอบเทียบ ทั้งนี้เมื่อได้ผลการสอบเทียบมาแล้วควรมีการตรวจสอบกับไฟล์ภาพต้นฉบับเพื่อความถูกต้องอีกชั้นหนึ่ง

9. ปัญหาและอุปสรรค

การทดลองในงานวิจัยนี้ต้องทำด้วยความระมัดระวังและรอบคอบ เนื่องจากเครื่องมือมาตรฐานที่ใช้ในการทดลองเช่น โหลดเซลและเครื่องแสดงผล นั้นมีมูลค่าสูง อีกทั้งยังมีการใช้งานเป็นประจำ ทำให้มีเวลาจำกัดในการทดลองในเครื่องมือแต่ละโมเดล

บรรณานุกรม

- [1] ISO 376:2011(E), Metallic material – Calibration of force-proving instruments used for the verification of uniaxial testing machines, 2004.
- [2] EURAMET cg-4, version 2.0 (03/2011), Uncertainty of Force Measurements, 2011.
- [3] Chaemthet, K., Amornsakul, C., and Heamawatanachai, S. (2010). Interlaboratory Comparison of Force Measurement In Thailand, IMEKO 2010 TC3, TC5 and TC22 Conference, Chonburi, Thailand
- [4] Heamawatanachai, S., Chaemthet, K., Sumyong, N. And Amornsakul, C. (2011). Analytical Study on the Uncertainty of Load Cells Calibrated with Deadweight-Force-Standard Machine and Force-Comparator Machine, The second TSME Conference on Mechanical Engineering, Krabi, Thailand
- [5] Edinbarough I, et al. (2005). A vision and robot based on-line inspection monitoring system for electronic manufacturing. Computer in Industry, 56:986-996.
- [6] Giannoukos I, et al. (2010). Operator context scanning to support high segmentation rates for real time license plate recognition. Pattern Recognition, 43(11):3866-3878.
- [7] Scott E Umbaugh. (2011). Digital Image Processing and Analysis – Human and Computer Vision Applications with C/VItools - 2nd Edition. CRC Press
- [8] LeAnder RW, et al. (2008). Comparison of Two Algorithms in the Automatic Segmentation of Blood Vessels in Fundus Images. Proceedings of the SPIE Medical Imageing 2008 Conference.
- [9] Henry Y.T. Ngan, Grantham K.H. Pang, Nelson H.C. Yung. Automated fabric defect detection—A review, Image and Vision Computing 29 (2011) 442–458
- [10] B.M. Sagar, Shobha G, R. P. Kumar, “OCR for printed Kannada text to machine editable format using database approach” WSEAS Transactions on Computers Volume 7, Pages 766-769, 6 June 2008

- [11] G. Andria, G. Cavone, L. Fabbiano, N. Giaquinto and M. Savino, Automatic Calibration System for Digital Instruments without Built-in Communication Interface, XIX IMEKO World Congress (2009)
- [12] Heamawatanachai, S., Chaemthet, K., and Changpan, T. (2013). Development Of A Machine-Vision-Based System For Recording Of Force Calibration Data, APMF 2013 (Asia-Pacific Symposium on Measurement of Mass, Force & Torque), Taipei, Taiwan

ภาคผนวก ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ – นามสกุล นาย สุเมธ เหมะวัฒน์ชะชัย

Mr. Sumet Heamawatanachai

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

สถานที่ติดต่อ

ที่ทำงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

โทรศัพท์ 055-964238

โทรสาร 055-964000

โทรศัพท์เคลื่อนที่ 082-7798781

E – mail sumeth@nu.ac.th

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา	คุณวุฒิ	สถาบันการศึกษา
๒๕๓๙	วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล)	จุฬาลงกรณ์
๒๕๔๓	วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล)	จุฬาลงกรณ์
๒๕๕๑	M.Sc. (Mechanical Engineering)	University of Utah
๒๕๕๓	Ph.D. (Mechanical Engineering)	University of Utah

สาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง วิศวกรรมเครื่องกล, การวัดและมาตรวิทยา, Precision machine design

ภาระงานในปัจจุบัน อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ผลงานวิจัย

ก. ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติ

- ตูลย์ มณีวัฒนา และ สุเมธ เหมะวัฒน์ชะชัย, “การศึกษาเชิงวิเคราะห์เกี่ยวกับการระบายอากาศในระบบหลายห้อง”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 15, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพมหานคร, 28-30 พฤศจิกายน 2001

ข. ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ

- **Heamawatanachai, S.**, Chaemthet, K., Changpan, T., “Development of a Machine-Vision-Based System for Recording of Force Calibration Data”, International Journal of Modern Physics: Conference Series. 24 (2013) 1360018 (11 pages).
- Chaemthet, K., Amornsakun, C., Sumyong, N., Changpan, T., **Heamawatanachai, S.**, “Investigation of Uncertainty from Creep and Creep Recovery of Force Calibration Result in Accordance with ISO376:2011”, International Journal of Modern Physics: Conference Series. 24 (2013) 1360012 (10 pages).

- **Heamawatanachai, S.**, Bamberg, E., Cutting force model of orbital single-point micromachining tool. International Journal of Machine Tools & Manufacture 2010 ;50 (9); 815-823.
- **Heamawatanachai, S.**, Bamberg, E., Design and characterization of a PZT driven micromachining tool based on single-point tool tip geometry. Prec. Eng. 2009;33(4):387-94.
- Rakwal, D., **Heamawatanachai, S.**, Tathireddy, P., Solzbacher, F., Bamberg, E., Fabrication of compliant high aspect ratio microelectrode silicon arrays using micro-wire electrical discharge machining. Microsystem Technology (2009) 15;789-797.
- Bamberg, E., **Heamawatanachai S.**, Orbital electrode actuation to improve efficiency of drilling micro-holes by micro-EDM. Journal of Materials Processing Technology 2009;209:1826-34.

ค. ผลงานวิจัยที่นำไปใช้ประโยชน์ได้

- Development of programs for controlling of Wired-Electrical-Discharge-Machine(WEDM) (2009)
- การพัฒนาเครื่องสอบเทียบแรงปฏิกิริยาขนาดพิคัด 1 กิโลนิวตัน (2002-2003)

ง. ผลงานอื่นๆ เช่น ตำรา บทความ สิทธิบัตร ฯลฯ

- **Heamawatanachai, S.**, Chaemthet, K., Sumyong, N., Amornsakun, C., “Analytical Study on The Uncertainty of Load cells Calibrated with Deadweight-Force-Standard Machine and Force-Comparator Machine”, TSME 2011, Oct 19-21, 2011.
- Chaemthet, K., Amornsakun, C., **Heamawatanachai, S.**, “Interlaboratory Comparison of Force Measurement in Thailand”, IMEKO 2010 TC3 conference, 2010.
- Chaemthet, K., Amornsakun, C., Tulasombut, V., **Heamawatanachai, S.**, “Improvement of the Realization of 500 kN Force by Deadweight Force Machine at NIMT”, IMEKO 2010 TC3 conference, 2010.
- Bamberg, E., **Heamawatanachai, S.**, “A novel micromilling technology based on single-point tip geometries”, ASPE 2007 - proceedings of the 2007 annual meeting of American Society for Precision Engineering, Dallas, TX, October 14-19, 2007, pp. 28-31.
- **Heamawatanachai, S.**, Corbin, B., Emig, L., Bamberg, E., “Flexure-based meso-level stages driven by linear piezo motors”, ASPE 2006 - proceedings of the 2006 annual meeting of the American Society for Precision Engineering, Monterey, CA, October 15-20, 2006, (26), pp. 135-138.
- Bamberg, E., **Heamawatanachai, S.**, Jorgensen, J.D., “Flexural micro-EDM head for increased productivity of micro-holes”, ASPE 2005 - proceedings of the 2005 annual meeting of the American Society for Precision Engineering, Norfolk, VA, October 10-14, 2005, pp. 82-85.

จ. รางวัลผลงานวิจัยที่เคยได้รับ

- American Society for Precision Engineering 2005 Scholarship Award, for the paper “Flexural micro-EDM head for increased productivity of micro-holes” Norfolk, VA, Oct.10-14,2005

