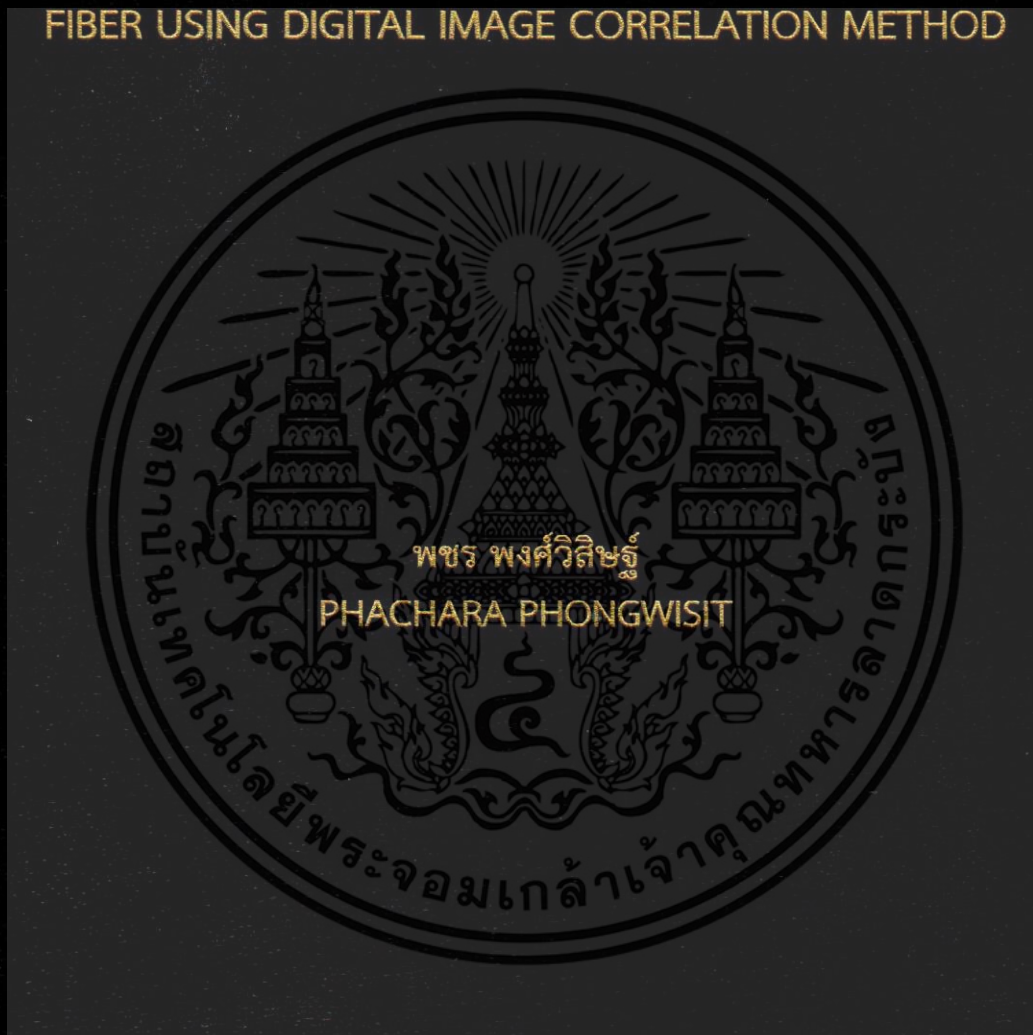


การศึกษาสมบัติการยืดตัวและความเครียดของเส้นใยไหม
ด้วยวิธีการดิจิทัลออลิมเมจคอร์รีเลชัน

A STUDY OF ELONGATION PROPERTY AND STRAIN OF THAI SILK
FIBER USING DIGITAL IMAGE CORRELATION METHOD



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-SC-M-030-029

การศึกษาสมบัติการยืดตัวและความเครียดของเส้นใยไหม
ด้วยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์เรลชัน

A STUDY OF ELONGATION PROPERTY AND STRAIN OF THAI SILK
FIBER USING DIGITAL IMAGE CORRELATION METHOD



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-SC-M-030-029

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY OF ELONGATION PROPERTY AND STRAIN OF THAI SILK
FIBER USING DIGITAL IMAGE CORRELATION METHOD



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE
DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN APPLIED PHYSICS
DEPARTMENT OF PHYSICS
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2017

KMITL-2017-SC-M-030-029

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ สงวนลิขสิทธิ์ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ “การศึกษาสมบัติการยืดตัวและความเครียดของเส้นใยไหมด้วยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชัน”
“A STUDY OF ELONGATION PROPERTY AND STRAIN OF THAI SILK FIBER USING DIGITAL IMAGE CORRELATION METHOD”

ชื่อนักศึกษา นายเพชร พงศ์วิสิทธิ์
รหัสประจำตัว 58605065
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา ฟิสิกส์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ประธาน บุรณศิริ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.เชษฐา รัตนพันธ์ ประธานกรรมการ รศ.วิชาญ เตชิตธีระ อาจารย์บัณฑิตประจำ (ในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง) ผศ.ดร.รัชภาคย์ จิตต์อารี ผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอกสถาบันฯ ผศ.ดร.ประธาน บุรณศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	

วัน/ เดือน/ ปี ที่สอบ อังคาร ที่ 4 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 เวลา 13.30-16.30 น.
สถานที่สอบ ณ ห้อง 307 อาคารจุฬารามณ์วลัยลักษณ์ 1 ชั้น 3

คณะวิทยาศาสตร์รับรองแล้ว
(รองศาสตราจารย์ ดร.ตชนัน ฐานะบริพัฒน์)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
วันที่ 13 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 60

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาสมบัติการยึดตัวและความเครียดในเส้นใยไหมด้วยวิธีการดิจิทัลออลิมเมจคอร์รีเลชัน
ชื่อนักศึกษา	นายพชร พงศ์วิสิทธิ์
รหัสประจำตัว	58605065
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชา	ฟิสิกส์
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.ประธาน บุรณศิริ

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ชิ้นนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติการยึดตัวและความเครียดในเส้นใยไหมพันธุ์เหลืองไพโรจน์ด้วยวิธีการดิจิทัลออลิมเมจคอร์รีเลชัน เนื่องจากการศึกษาสมบัติดังกล่าวของเส้นใยธรรมชาติซึ่งมีขนาดเล็กจำเป็นต้องใช้เครื่องทดสอบแรงดึงซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อใช้ศึกษาตัวอย่างที่มีขนาดเล็กโดยเฉพาะ ในวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้จึงได้มีการออกแบบการทดลองโดยการจัดการทดลองในลักษณะที่คล้ายคลึงกับการทดลองเรื่องกฎของฮุคส์เพื่อวัดการยึดตัวของเส้นใยไหมชนิดต่าง ๆ ด้วยวิธีการดิจิทัลออลิมเมจคอร์รีเลชันเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของสมบัติการยึดตัวและความเครียดของเส้นไหมแต่ละชนิดและเมื่อนำผลการศึกษาดูด้วยวิธีการดิจิทัลออลิมเมจคอร์รีเลชันเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากเครื่องทดสอบแรงดึงที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรมพบว่าค่าที่ได้มีความแตกต่างกันเพียง 4.0548 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อนำผลการศึกษามาสรุปได้ว่าเส้นไหมชนิดที่มีขนาดใหญ่จะมีการยึดตัวและเกิดความเครียดน้อยกว่าเส้นไหมชนิดที่มีขนาดเล็ก

คำสำคัญ : การยึดตัว, ความเครียด, ดิจิทัลออลิมเมจคอร์รีเลชัน, เส้นไหมไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	A study of elongation property and strain of Thai silk fiber using Digital Image Correlation method
Student Name	Phachara Phongwisit
Student ID	58605065
Degree	Master of Science in Applied Physics
Department	Physics
Year	2560
Thesis Advisor	Assis. Prof. Dr. Prathan Buranasiri

Abstract

Aim of this thesis was to study an elongation properties and strain on Thai silk fiber by digital image correlation method. With the experiment based on the Hooke's law, elongation properties and strain on the silk fiber sample can be measured by the digital image correlation method. Results from this proposed setup were found to be different from the measurement made by the commercial machine about 4.0548 percent. To determine an elongation properties and strain on the fiber, 3 types of Thai silk fiber were used in this work. An elongation properties show that a type of large sized sample is elongated less than a small type. And the large sized sample has less strain than the small type.

Keywords : Elongation property, Strain, Digital Image Correlation method, Thai silk

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ประธาน บุรณศิริ และ อาจารย์สุรชาติ กมลติก เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้ความกรุณาช่วยเหลือและชี้แนะแนวทางการศึกษาตลอดจนการดำเนินงานวิจัยและการแก้ไขปัญหาในการดำเนินงานวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้จนสามารถสำเร็จลุล่วงเป็นผลสมบูรณ์ได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.เชษฐา รัตนพันธ์, รศ.วิชาญ เตชิตธีระ และ ผศ.ดร.รัชภาคย์ จิตต์อารี ที่ได้ให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะในการกำหนดทิศทางของวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ได้กรุณาอบความรู้ความเข้าใจในฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์อย่างลึกซึ้งแก่ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำกรมหม่อนไหมและเกษตรกรผู้เลี้ยงไหมผู้มอบเส้นไหมสำหรับใช้ในการดำเนินงานในวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้เป็นอย่างสูง

นายพชร พงศ์วิสิษฐ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 กระบวนการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชัน	4
2.2 สมบัติทางกลของวัสดุ	5
2.3 ความรู้เบื้องต้นในด้านหม่อนไหมและอุตสาหกรรมสิ่งทอ	10
2.3.1 ประวัติความเป็นมาของผ้าไหมไทย	10
2.3.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับหม่อนไหม	11
2.3.3 ขั้นตอนการผลิตผ้าไหมไทย	14
2.3.4 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับเส้นไหมไทย	19
2.4 การถ่ายภาพเบื้องต้น	21
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	23
3.1 การสอบเทียบวิธีการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชันโดยการ ใช้สปริงที่ทราบค่านิจสปริง	23
3.2 การศึกษาสมบัติการยืดตัวและความเครียดของเส้นไหมไทยโดยวิธีการดิจิทัล อิมเมจคอร์รีเลชัน	27
3.3 การเปลี่ยนขนาดของวัตถุที่ปรากฏบนภาพถ่ายเป็นขนาดของวัตถุจริง	31
3.4 อุปกรณ์ถ่ายภาพที่ใช้ในการวิจัย	34
3.5 สถิติศาสตร์ที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ข้อมูล	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล	37
4.1 ผลการสอบเทียบวิธีการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชัน	37
4.1.1 ผลการสอบเทียบวิธีการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชัน โดยใช้สปริงที่ทราบค่านิสสปริงด้วยกล้องถ่ายภาพยี่ห้อ Canon รุ่น 60D และเลนส์ มาโครยี่ห้อ Canon รุ่น EF 100mm f2.8L Macro IS USM	37
4.1.2 ผลการสอบเทียบวิธีการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชัน โดยใช้สปริงที่ทราบค่านิสสปริงด้วยกล้องถ่ายภาพยี่ห้อ Nikon รุ่น D7100 และ เลนส์มาโครยี่ห้อ Tamron รุ่น 90mm f2.8 Macro	49
4.1.3 การวิเคราะห์ผลการสอบเทียบวิธีการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิตอล อิมเมจคอร์รีเลชันโดยใช้สปริงที่ทราบค่านิสสปริงด้วยกล้องถ่ายภาพยี่ห้อ Canon รุ่น 60D และเลนส์มาโครยี่ห้อ Canon รุ่น EF 100mm f2.8L Macro IS USM และ กล้องถ่ายภาพยี่ห้อ Nikon รุ่น D7100 และเลนส์มาโครยี่ห้อ Tamron รุ่น 90mm f2.8 Macro	61
4.2 ผลการศึกษาสมบัติการยืดตัวและความเครียดของเส้นไหมไทยด้วยวิธีการ ดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชัน	63
4.2.1 ผลการศึกษาสมบัติการยืดตัวและความเครียดของเส้นไหมไทยชนิดเส้น ไหมหนึ่งหรือไหมน้อย	63
4.2.2 ผลการศึกษาสมบัติการยืดตัวและความเครียดของเส้นไหมไทยชนิดเส้น ไหมสองหรือไหมสาวเลย	66
4.2.3 ผลการศึกษาสมบัติการยืดตัวและความเครียดของเส้นไหมไทยชนิดเส้น ไหมสามหรือไหมสี่	69
4.2.4 ผลการเปรียบเทียบการศึกษาสมบัติการยืดตัวและความเครียดของเส้น ไหมไทยด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชันและเครื่องมือมาตรฐาน	72
4.2.5 ผลการเปรียบเทียบการศึกษาสมบัติการยืดตัวและความเครียดของเส้น ไหมไทยทั้งสามชนิด	74
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	77
5.1 สรุปผลการวิจัย	77
5.2 ข้อเสนอแนะ	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	79
ภาคผนวก	80
ภาคผนวก ก. งานวิจัยที่ได้นำเสนอในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ	81
ประวัติผู้เขียน	93



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การแบ่งขนาดของเส้นไหมแต่ละชนิด	20
4.1 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชัน ครั้งที่ 1	37
4.2 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชัน ครั้งที่ 2	38
4.3 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชัน ครั้งที่ 3	39
4.4 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชัน ครั้งที่ 4	40
4.5 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชัน ครั้งที่ 5	41
4.6 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชัน ครั้งที่ 6	42
4.7 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชัน ครั้งที่ 7	43
4.8 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชัน ครั้งที่ 8	44
4.9 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชัน ครั้งที่ 9	45
4.10 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชัน ครั้งที่ 10	46
4.11 การวิเคราะห์ผลการทดลองทั้ง 10 ครั้ง	47
4.12 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชัน ครั้งที่ 1	49
4.13 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชัน ครั้งที่ 2	50
4.14 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชัน ครั้งที่ 3	51
4.15 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชัน ครั้งที่ 4	52
4.16 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชัน ครั้งที่ 5	53
4.17 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชัน ครั้งที่ 6	54
4.18 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชัน ครั้งที่ 7	55
4.19 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชัน ครั้งที่ 8	56
4.20 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชัน ครั้งที่ 9	57
4.21 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชัน ครั้งที่ 10	58
4.22 การวิเคราะห์ผลการทดลองทั้ง 10 ครั้ง	59
4.23 ผลการเปรียบเทียบค่านิจสปริงและความคลาดเคลื่อนระหว่างกล้องทั้งสองยี่ห้อ	61
4.24 ผลการเปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและความไม่แน่นอนในการวัดระหว่าง กล้องทั้งสองยี่ห้อ	62
4.25 ผลการศึกษาความเครียดของเส้นไหมไทยชนิดเส้นไหมหนึ่ง หรือ ไหมน้อย	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.26 ผลการศึกษาสมบัติการยึดตัวของเส้นไหมไทยชนิดเส้นไหมหนึ่ง หรือ ไหมน้อย	65
4.27 ผลการศึกษาความเครียดของเส้นไหมไทยชนิดเส้นไหมสอง หรือ ไหมสาวเลย	66
4.28 ผลการศึกษาสมบัติการยึดตัวของเส้นไหมไทยชนิดเส้นไหมสอง หรือ ไหมสาวเลย	67
4.29 ผลการศึกษาความเครียดของเส้นไหมไทยชนิดเส้นไหมสาม หรือ ไหมลืบ	69
4.30 ผลการศึกษาสมบัติการยึดตัวของเส้นไหมไทยชนิดเส้นไหมสาม หรือ ไหมลืบ	70
4.31 การเปรียบเทียบสมบัติการยึดตัวและความเครียดที่มีต่อเส้นไหมทั้งสามชนิด	74
4.32 การเปรียบเทียบผลการทดลองจากเส้นไหมทั้งสามชนิด	76



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดอ้างอิงในกระบวนการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชัน	4
2.2 ความเค้นที่กระทำต่อวัตถุ	5
2.3 ความเครียดดึงในวัตถุ	6
2.4 ความเครียดอัดในวัตถุ	6
2.5 ความเครียดเฉือนในวัตถุ	7
2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและความเค้นของวัสดุ	8
2.7 เครื่องทดสอบแรงดึง Instron model 5566	9
2.8 ใบและผลของต้นหม่อน	11
2.9 หนอนไหม	12
2.10 ภาพตัวอย่างรังไหมพันธุ์ต่างๆ	13
2.11 ตัวอย่างแปลงปลูกต้นหม่อนสำหรับเลี้ยงไหม	14
2.12 วงจรชีวิตของหนอนไหม	15
2.13 การสาวไหมด้วยมือ	16
2.14 การสาวไหมด้วยเครื่องจักร	17
2.15 การทอผ้าไหมด้วยมือ	18
2.16 รูปแสดงเส้นพุ่ง (Weft) และเส้นยืน (Warp)	18
2.17 ส่วนประกอบของกล้องถ่ายภาพ	21
3.1 การจัดอุปกรณ์เพื่อวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชัน	23
3.2 แผนภาพขั้นตอนการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชัน	24
3.3 ตัวอย่างภาพถ่ายที่ได้จากกระบวนการทำให้เสียรูป	24
3.4 การคำนวณความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปของสปริงด้วยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชัน ..	25
3.5 ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำต่อสปริงและระยะที่สปริงยืดออก	26
3.6 ตัวอย่างรังไหมพันธุ์เหลืองไพโรจน์ที่ใช้ในงานวิจัย	27
3.7 การจัดอุปกรณ์เพื่อวัดการยืดตัวของเส้นไหมด้วยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชัน	28
3.8 แผนภาพขั้นตอนการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชัน	28
3.9 การคำนวณความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปของเส้นไหมโดยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชัน	29
3.10 เครื่องทดสอบแรงดึง Instron model 5566	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11 ตัวอย่างภาพถ่ายที่ได้จากกระบวนการทำให้เสียรูป	31
3.12 การหาจำนวนของพิกเซลที่ปรากฏบนภาพถ่ายด้วยโปรแกรม ImageJ	32
3.13 ตัวอย่างการเปรียบเทียบการคำนวณความเปลี่ยนแปลงของวัตถุด้วยวิธีการดิจิทัล อิมเมจคอร์รีเลชันโดยใช้โปรแกรม ImageJ	33
3.14 Canon 60D และ Canon 100mm f2.8L Macro lens	34
3.15 Nikon D7100 และ Tamron 90mm f2.8 Macro	35
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก	38
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก	39
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก	40
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก	41
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก	42
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก	43
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก	44
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก	45
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก	46
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก	47
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออกโดย วิเคราะห์จากผลการทดลองที่ 10 ครั้ง	48
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก	50
4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก	51
4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก	52
4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก	53
4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก	54
4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก	55
4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก	56
4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก	57
4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก	58
4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออกโดยวิเคราะห์จากผลการทดลองที่ 10 ครั้ง	60
4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและความเครียดของตัวอย่างจากค่าเฉลี่ยของการทดลองทั้ง 10 ครั้ง	64
4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและความเครียดของตัวอย่างจากค่าเฉลี่ยของการทดลองทั้ง 10 ครั้ง	67
4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและความเครียดของตัวอย่างจากค่าเฉลี่ยของการทดลองทั้ง 10 ครั้ง	70
4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและความเครียดของตัวอย่างจากเครื่องมือมาตรฐานของสถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ	72
4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและความเครียดของตัวอย่างจากเครื่องมือมาตรฐานของสถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอในช่วงที่มีแรงกระทำ 0-0.7 นิวตัน	73
4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและความเครียดของตัวอย่างจากวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชัน	73
4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและความเครียดของเส้นไหมทั้งสามชนิด	75
4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและร้อยละของการยืดตัวของเส้นไหมทั้งสามชนิด	75

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากการศึกษาจากบทความและงานวิจัยทั้งในและนอกประเทศ สำหรับงานตรวจวัดหรือการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพบางประการในปัจจุบันนิยมใช้วิธีการวัดด้วยแสงซึ่งให้ผลที่มีความละเอียดและแม่นยำสูง หนึ่งในกระบวนการตรวจวัดด้วยแสงที่เป็นที่นิยมแพร่หลายในปัจจุบัน คือ กระบวนการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชัน (Digital Image Correlation method) ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเป็นการตรวจวัดแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive) ทำให้ตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการตรวจวัดไม่ถูกทำลายหรือสูญเสียสภาพไปในระหว่างกระบวนการ นอกจากนี้กระบวนการดังกล่าวยังสามารถปรับเปลี่ยนเพื่อใช้ในการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ เพิ่มเติมได้โดยง่าย

กระบวนการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชันเป็นกระบวนการการตรวจวัดด้วยแสงอย่างหนึ่งซึ่งถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของวัสดุในงานวิจัยโดยนายปีเตอร์และนายแรนสัน (W.H. Peters, W.F. Ranson) นักวิจัยแห่งมหาวิทยาลัยเซาธ์แคโรไลนาในปี ค.ศ.1982 [W.H. Peters and W.F. Ranson, "Digital imaging techniques in experimental stress analysis," Opt. Eng. Paper 21, 427-431 (1982)] งานวิจัยดังกล่าวสามารถศึกษาความเครียดและความเค้นของวัสดุประเภทโลหะได้โดยอาศัยการเปรียบเทียบความแตกต่างของภาพถ่ายของวัสดุในระหว่างกระบวนการทำให้เสียรูป (De-formed process)

นอกจากการใช้กระบวนการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชันในการศึกษาความเครียดและความเค้นของวัสดุแล้ว กระบวนการดังกล่าวอย่างสามารถใช้ศึกษาลักษณะรูปร่างหรือพื้นผิวของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างกระบวนการทำให้เสียรูปในงานวิจัยโดยนักวิจัยแห่งมหาวิทยาลัยนานกิงในปี ค.ศ.2013 [Xu, X., Wang, K. and Gu, G., "An improved method for shape measurement using two-dimensional digital image correlation," Optik. Papers 124, 4097-4099 (2013)] งานวิจัยดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ากระบวนการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชันสามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบเพื่อประยุกต์ใช้กับการตรวจวัดคุณสมบัติทางกายภาพได้หลายชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันผ้าไหมไทยถือเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางในระดับสากลทั้งในด้านคุณภาพ ความสวยงามและความทนทาน ในแต่ละท้องถิ่นของประเทศไทยจะมีกรรมวิธีและกระบวนการในการผลิตเส้นไหมและทอขึ้นรูปเป็นผืนผ้าแตกต่างกันไปตามภูมิปัญญาของแต่ละท้องถิ่น ผ้าไหมไทยจึงถือได้ว่าเป็นมรดกทางวัฒนธรรมอย่างหนึ่งของชาติและยังสะท้อนถึงภูมิปัญญาของผู้คนที่ได้ประดิษฐ์กรรมวิธีการทอและลวดลายเฉพาะให้สอดคล้องกับวิถีการดำเนินชีวิตและประเพณีวัฒนธรรมของท้องถิ่นของตน

แต่ในปัจจุบันการปลูกหม่อนเลี้ยงไหมรวมไปจนถึงการทอผ้าได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐจนเป็นที่แพร่หลายไปทั่วทุกภูมิภาค เนื่องจากการแพร่หลายดังกล่าวจึงทำให้มีความจำเป็นต้องสร้างมาตรฐานของผ้าไหมไทยให้ทัดเทียมกันในทุกภูมิภาคและทัดเทียมกับมาตรฐานระดับสากล โดยในทางอุตสาหกรรมสิ่งทอการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุสิ่งทอมักจะมีการทดสอบเมื่อวัสดุดังกล่าวถูกทอขึ้นรูปเป็นผืนผ้าขนาดใหญ่ คุณสมบัติทางกายภาพที่มักถูกทดสอบในสิ่งทอ ได้แก่ ความยาว ความละเอียด ความแข็งแรง การดูดความชื้น ความทนทานต่อความร้อน การนำไฟฟ้าและความร้อน เป็นต้น โดยคุณสมบัติดังกล่าวจะแตกต่างกันไปตามประเภทของเส้นใยที่นำมาทอเป็นสิ่งทอ การวัดคุณสมบัติทางกายภาพดังกล่าวจำเป็นต้องใช้เครื่องมือวัดที่มีความละเอียดแม่นยำสูงซึ่งมีราคาและความซับซ้อนสูง ทำให้การทดสอบคุณสมบัติของผ้าไหมไทยถูกจำกัดอยู่เพียงหน่วยงานที่มีความพร้อมในด้านทุนทรัพย์สูง

งานวิจัยชิ้นนี้จึงได้นำเอากระบวนการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชันมาใช้ในการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพในเชิงฟิสิกส์ของเส้นไหมซึ่งมีขนาดเล็กเกินกว่าที่เครื่องมือวัดชนิดอื่นจะสามารถตรวจสอบได้ โดยการเปรียบเทียบภาพถ่ายของเส้นไหมในระหว่างกระบวนการทำให้เสียรูปเพื่อศึกษาความเครียดของเส้นไหมประเภทต่างๆที่มีต่อแรงกระทำ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาสมบัติการยืดตัวและความเครียดของเส้นไหมที่มีต่อแรงกระทำ

1.2.2 เพื่อศึกษากระบวนการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชัน

1.2.3 เพื่อออกแบบกระบวนการวัดการยืดตัวของเส้นไหมด้วยกระบวนการดิจิทัลอิมเมจ

คอร์รีเลชันเพื่อนำมาใช้ศึกษาความเครียดต่อแรงกระทำที่มีต่อเส้นไหม
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการวิจัยในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาและออกแบบการทดลองสำหรับการศึกษาคุณสมบัติการยืดตัวของเส้นไหม โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะแบ่งออกเป็นสองส่วน ได้แก่

1.3.1 ศึกษา ออกแบบและสอบเทียบกระบวนการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชันเพื่อใช้ในการวัดคุณสมบัติการยืดตัวของเส้นไหมโดยใช้การสอบเทียบกับการทดลองตามกฎของฮุกส์ (Hooke's law)

1.3.2 ศึกษาและเปรียบเทียบผลของคุณสมบัติการยืดตัวและความเครียดของเส้นไหมด้วยกระบวนการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 มีความรู้ความเข้าใจในกระบวนการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชันและการประยุกต์

1.4.2 สามารถออกแบบการทดลองสำหรับศึกษาคุณสมบัติการยืดตัวและความเครียดของเส้นไหมที่มีต่อแรงกระทำด้วยกระบวนการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชันได้

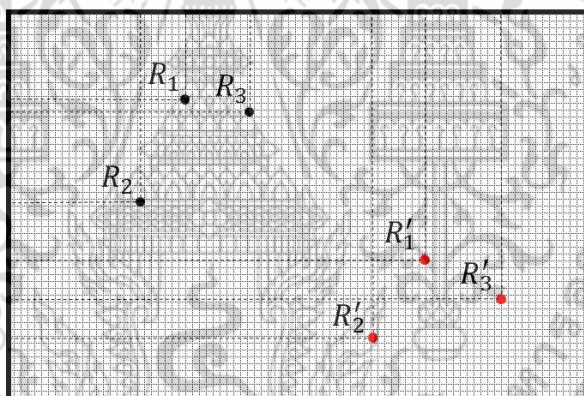
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชัน

กระบวนการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชันถูกพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ.1980 เพื่อตรวจสอบความเครียดและความเค้นบนวัสดุทางวิศวกรรม กระบวนการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชันเป็นการตรวจสอบแบบไม่ทำลายโดยอาศัยการวิเคราะห์ความแตกต่างของภาพถ่ายดิจิทัลของตัวอย่างที่ต้องการตรวจสอบในระหว่างกระบวนการทำให้เสียรูป (Deformation process) กระบวนการตรวจสอบดังกล่าวนิยมใช้ในการศึกษาความเครียดและความเค้นที่กระทำต่อวัตถุในงานด้านวิศวกรรม



รูปที่ 2.1 การเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดอ้างอิงในกระบวนการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชัน

โดยการกำหนดจุดอ้างอิงลงบนตัวอย่างที่ต้องการตรวจสอบ จากนั้นจึงถ่ายภาพบริเวณพื้นผิวที่ต้องการศึกษาด้วยกล้องดิจิทัลเพื่อบันทึกเป็นภาพของวัสดุที่ยังไม่เปลี่ยนรูป (Un-deformed Image) จากนั้นจึงเริ่มให้แรงกับชิ้นงานพร้อมทั้งถ่ายภาพของพื้นผิวที่ต้องการศึกษาเป็นภาพของวัสดุที่เปลี่ยนรูปไป (Deformed Image) แล้วจึงนำรูปภาพทั้งสองมาเปรียบเทียบกันเพื่อหาความสัมพันธ์หรือการสหสัมพันธ์ (Correlation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สมบัติทางกลของวัสดุ

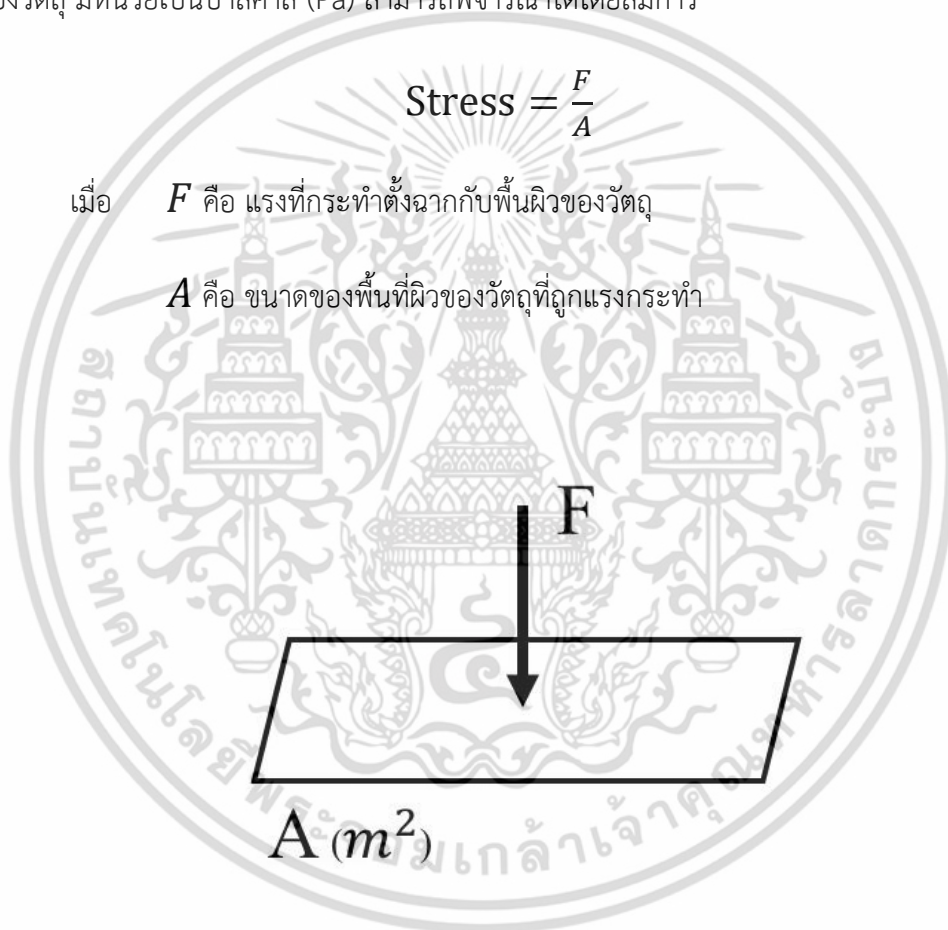
เมื่อวัตถุถูกกระทำโดยแรงและเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Deformation) เนื่องจากแรงที่กระทำทำให้อนุภาคภายในวัตถุเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไป ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและรูปร่างของวัตถุที่เปลี่ยนแปลงไปสามารถถูกแปลงรูปเป็นความเค้นและความเครียดเพื่อหาความสัมพันธ์ของปรากฏการณ์ดังกล่าว

ความเค้น (Stress) คือ อัตราส่วนระหว่างแรงที่กระทำตั้งฉากกับพื้นผิวของวัตถุต่อพื้นที่ผิวของวัตถุ มีหน่วยเป็นปาสคาล (Pa) สามารถพิจารณาได้โดยสมการ

$$\text{Stress} = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

เมื่อ F คือ แรงที่กระทำตั้งฉากกับพื้นผิวของวัตถุ

A คือ ขนาดของพื้นที่ผิวของวัตถุที่ถูกแรงกระทำ

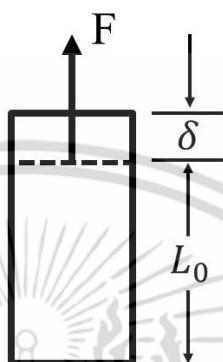


รูปที่ 2.2 ความเค้นที่กระทำต่อวัตถุ

ความเครียด (Strain) คือ การเปลี่ยนแปลงของวัตถุที่ถูกแรงภายนอกมากระทำแล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดความยาวของวัตถุทำให้วัตถุมีความยาวเพิ่มมากขึ้นหรือลดน้อยลง ความเครียดในวัสดุสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

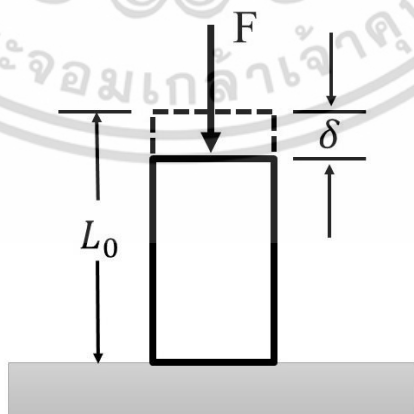
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ความเครียดดึง (Tensile Strain) คือ การเปลี่ยนแปลงของวัตถุเมื่อถูกแรงกระทำตามแนวแกนทำให้วัตถุมีการยืดออก (Elongate) ตามขนาดของแรงที่ใช้ดึง ทำให้ความยาวของวัตถุเพิ่มมากขึ้นกว่าเดิม



รูปที่ 2.3 ความเครียดดึงในวัตถุ

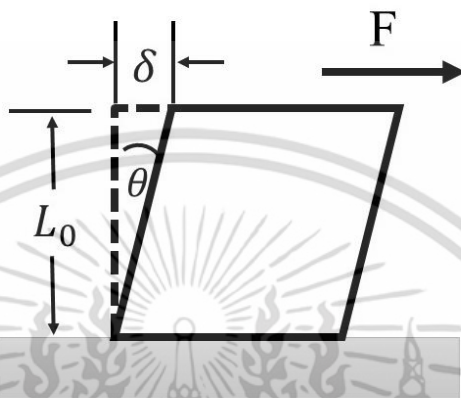
2) ความเครียดอัด (Compressive Strain) คือ การเปลี่ยนแปลงของวัตถุเมื่อถูกแรงกระทำกดตามแนวแกนทำให้วัตถุมีการหดตัวตามขนาดของแรงที่ใช้กด ทำให้ความยาวของวัตถุลดลงกว่าเดิม



รูปที่ 2.4 ความเครียดอัดในวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ความเครียดเฉือน (Shear Strain) คือ การเปลี่ยนแปลงของวัตถุเมื่อถูกแรงกระทำที่ด้านใดด้านหนึ่งของวัตถุแล้วทำให้วัตถุมีการเปลี่ยนแปลงของมุมของพื้นผิวของวัสดุให้แตกต่างไปจากเดิม ทำให้รูปร่างของวัสดุเปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 2.5 ความเครียดเฉือนในวัตถุ

โดยความเครียดทั้ง 3 ชนิด สามารถพิจารณาได้โดยสมการ

$$\text{Strain} = \frac{\delta}{L_0} \quad (2.2)$$

เมื่อ δ คือ ความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปของวัตถุหลังถูกแรงภายนอกกระทำ

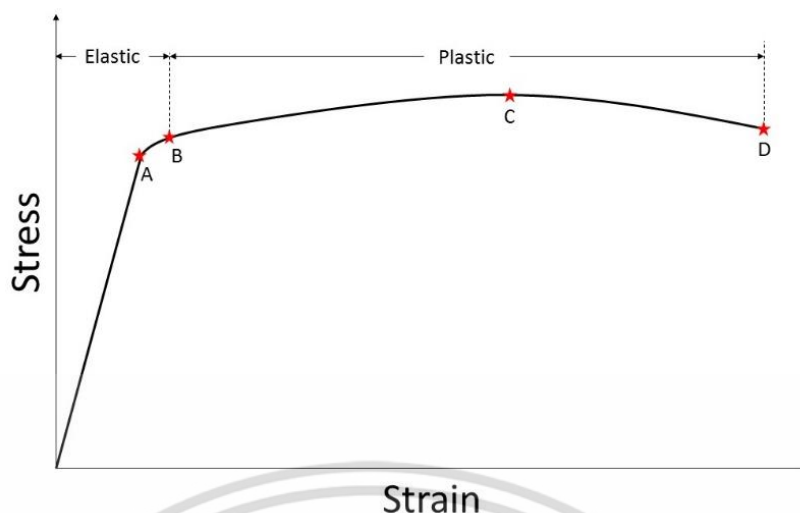
L_0 คือ ความยาวของวัตถุก่อนถูกแรงภายนอกกระทำ

เมื่อพิจารณาความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นในวัตถุ ความเค้นและความเครียดจะแปรผันตรงกันตามความสัมพันธ์

$$\text{Stress} = \text{Strain} \times E \quad (2.3)$$

โดย E คือ ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) หรือ ค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus) โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวเรียกว่า กฎของฮุคส์ (Hooke's law)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและความเค้นของวัสดุ โดยที่ (A) Proportional limit (B) Yield strength (C) Ultimate tensile strength (D) Fracture

โดยการเปรียบเทียบความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นบนวัสดุโดยกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและความเค้นดังรูปที่ 2.6 ในช่วงที่เริ่มให้แรงดึงกระทำกับวัสดุ วัสดุจะเกิดการเสียรูปโดยเกิดการยืดตัวออกโดยความเค้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียดและวัสดุสามารถคืนตัวได้ (Elastic deformation) จุดสุดท้ายที่วัสดุสามารถคืนตัวได้เรียกว่า ขีดจำกัดสัดส่วน (Proportional limit) จนกระทั่งถึงขีดจำกัดยืดหยุ่น (Elastic limit) จากนั้นจะถึงจุดจั่นหรือจุดคราก (Yield point) ซึ่งเป็นจุดที่วัสดุเริ่มเกิดการเสียรูปอย่างถาวร (Plastic deformation) หลังจากนั้นวัสดุจะเกิดการยืดตัวออกจนถึงจุดความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate tensile strength) ซึ่งเป็นจุดที่วัสดุสามารถรับความเค้นได้สูงสุดก่อนที่จะเกิดความเสียหาย (Fracture) โดยวัสดุบางชนิดอาจไม่แสดงจุดจั่นหรือจุดครากชัดเจนขึ้นกับชนิดของวัสดุนั้น ๆ



รูปที่ 2.7 เครื่องทดสอบแรงดึง Instron model 5566

การทดสอบแรงดึงเป็นการทดสอบเพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุประเภทต่าง ๆ โดยการให้แรงกระทำกับวัตถุในทิศเดียวกับความยาวของวัตถุที่ใช้ในการทดสอบเพื่อให้วัตถุนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงความยาว โดยทั่วไปแล้วการทดสอบแรงดึงจะกระทำโดยเครื่องมือที่มีชื่อว่า เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile testing machine) ดังรูปที่ 2.7 โดยการเตรียมตัวอย่างในลักษณะคล้ายดัมเบลซึ่งมีขนาดมาตรฐานยาว 50 มิลลิเมตร มีลักษณะภาคตัดเป็นรูวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.8 มิลลิเมตร โดยในระหว่างการทดสอบจะจับยึดปลายทั้งสองข้างของตัวอย่างไว้ภายในเครื่องทดสอบ แล้วจึงดึงชิ้นงานพร้อมกับวัดขนาดของแรงกระทำด้วยโหลดเซลล์ (Load cell) และการยึดตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบจะถูกเครื่องทดสอบดึงจนขาดออกจากกัน จากนั้นจึงนำค่าที่เครื่องทดสอบบันทึกได้มาวิเคราะห์ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ความรู้เบื้องต้นในด้านหม่อนไหมและอุตสาหกรรมสิ่งทอ

2.3.1 ประวัติความเป็นมาของผ้าไหมไทย

ผ้าไหมถือเป็นสิ่งทอจากเส้นใยธรรมชาติที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างสูงเนื่องจากมีความหยาบกร้าน ไม่สกปรกง่ายและสวมใส่สบายได้ทุกฤดูกาล การผลิตเครื่องนุ่งห่มของมนุษย์ในยุคก่อนประวัติศาสตร์จากผ้าไหมสามารถย้อนไปได้มากกว่า 3,000 ปี จากหลักฐานทางโบราณคดีที่พบเศษผ้าติดอยู่กับกำไลสำริดของมนุษย์ยุคก่อนประวัติศาสตร์บ้านเชียงและเศษผ้าไหมที่พบที่บ้านนาดี อำเภอนองหาน จังหวัดอุดรธานี บ่งชี้ว่าในบริเวณประเทศไทยในปัจจุบันมีการถ่ายทอดภูมิปัญญาและวัฒนธรรมในการปลูกหม่อนและเลี้ยงไหมมากกว่า 3,000 ปี

นอกจากนี้ยังปรากฏหลักฐานในช่วงยุคสมัยทางประวัติศาสตร์ของไทยเกี่ยวกับการค้าขายผ้าไหมของไทยกับประเทศเพื่อนบ้าน เช่น สมัยสุโขทัยปรากฏหลักฐานการค้าขายผ้าไหมกับนักเดินเรือชาวจีนใน พ.ศ.1839 ในรัชสมัยสมเด็จพระนารายณ์มหาราชได้ปรากฏหลักฐานว่ามีการส่งผ้าไหมเป็นเครื่องราชบรรณาการไปเพื่อเจริญสัมพันธไมตรีกับพระเจ้าหลุยส์ที่14 แห่งฝรั่งเศส ในปี พ.ศ.2229 เป็นต้น

การพัฒนาอย่างก้าวกระโดดของผ้าไหมไทยเกิดขึ้นในรัชสมัยพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัวแห่งกรุงรัตนโกสินทร์ได้มีการส่งเสริมให้ประชาชนปลูกหม่อนเลี้ยงไหมกันมากขึ้นเพื่อลดการนำเข้าเส้นไหมจากต่างประเทศ โดยได้มีการเชิญผู้เชี่ยวชาญจากประเทศญี่ปุ่น ดร.คาเมทาโร่ โทยามา (Dr.Kamataro Toyama) เข้ามาปรับปรุงคุณภาพของเส้นไหมให้สามารถเป็นสินค้าส่งออกได้ในปี พ.ศ.2445 และในปี พ.ศ.2447 พระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัวได้ทรงแยกแผนกไหมออกจากกระทรวงเกษตราธิการเป็นกรมการช่างไหมเพื่อส่งเสริมกิจการปลูกหม่อนเลี้ยงไหมให้มีความก้าวหน้ามากยิ่งขึ้น โดยกรมการช่างไหมได้สร้างพันธุ์ไหมลูกผสมระหว่างพันธุ์ไทยกับพันธุ์ญี่ปุ่นเพื่อให้ได้พันธุ์ที่มีคุณลักษณะที่ดีขึ้น

2.3.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับหม่อนไหม

2.3.2.1 ต้นหม่อน



รูปที่ 2.8 ใบและผลของต้นหม่อน

ต้นหม่อน (*Morus alba* L.) หรือ มัลเบอร์รี่ (Mulberry) เป็นพืชซึ่งเป็นอาหารตามธรรมชาติของหนอนไหมโดยปริมาณและคุณภาพของรังที่ตัวไหมผลิตได้จะขึ้นอยู่กับคุณภาพของใบหม่อน ต้นหม่อนเป็นไม้พุ่มขนาดกลางสามารถมีอายุยืนยาวได้ถึง 80-100 ปี หากไม่ถูกรบกวนด้วยโรคหรือแมลงศัตรูพืช นอกจากนี้ใช้ใบเป็นอาหารของตัวไหมแล้วผลของต้นหม่อนหรือลูกหม่อนยังมีสรรพคุณทางยาในการต้านทานอนุมูลอิสระได้อีกด้วย

พันธุ์หม่อนที่เกษตรกรนิยมปลูกเพื่อนำมาเลี้ยงตัวไหม ได้แก่

1) พันธุ์หม่อนน้อย เป็นหม่อนที่มีลักษณะของใบหนาเป็นมันสีเขียวรูปใบโพธิ์ขอบใบเรียบสามารถทนทานต่อความแห้งแล้งได้ดีแต่ไม่ทนต่อโรครากเน่า ให้ผลผลิตประมาณ 1,500 ถึง 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี

2) พันธุ์หม่อนสร้อย เป็นหม่อนที่มีลักษณะของใบทั้งขอบใบเรียบและขอบใบเว้าอยู่ในต้นเดียวกัน สามารถทนทานต่อความแห้งแล้งได้ดี ให้ผลผลิตประมาณ 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) พันธุ์หม่อนไผ่ เป็นหม่อนที่มีลักษณะของใบเว้า มีพื้นที่ใบน้อย ให้ผลผลิตต่อปีต่ำแต่สามารถทนทานต่อโรครากเน่าได้ดีจึงเหมาะกับการนำมาเป็นต้นต่อสำหรับติดตาหม่อนพันธุ์อื่นๆ
- 4) พันธุ์คุณประไพ เป็นหม่อนที่มีลักษณะของใบเป็นคลื่น ให้ผลผลิตสูงและต้านทานโรครากเน่าได้ดีแต่ไม่ทนต่อความแห้งแล้ง
- 5) พันธุ์ครราชสีมา60 เป็นหม่อนที่มีลักษณะของใบเป็นรูปใบโพธิ์ ผิวใบเรียบเป็นมันเงามสามารถต้านทานต่อโรคราแป้งได้ดี ให้ผลผลิตประมาณ 3,600 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี
- 6) พันธุ์บุรีรัมย์60 เป็นหม่อนพันธุ์ลูกผสมที่มีลักษณะของใบใหญ่หนาและอ่อนนุ่ม หลังการตัดแต่งสามารถแตกกิ่งได้เร็ว ให้ผลผลิตประมาณ 4,300 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี

2.3.2.2 ไหม



รูปที่ 2.9 หนอนไหม

ไหม (Silkworm) เป็นแมลงซึ่งกินใบหม่อนเป็นอาหาร โดยมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Bombyx mori* อยู่ในวงศ์ Bombycidae เป็นแมลงที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งเนื่องจากสามารถผลิตเส้นใยที่เหมาะสมกับการนำไปทอเป็นเครื่องนุ่งห่มได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นใยที่ผลิตได้จากไหมประกอบไปด้วยองค์ประกอบดังต่อไปนี้

1) ไฟโบรอิน (Fibroin) เป็นโปรตีนซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของเส้นไหมถึงประมาณร้อยละ 80 ขององค์ประกอบทั้งหมด ไฟโบรอินเป็นโปรตีนที่ไม่ละลายในน้ำในขณะที่ผ่านกระบวนการฟอกขาวไหมจึงเป็นเส้นใยที่ใช้ในการทอผ้าไหม

2) เซรีซิน (Sericin) หรือกาวไหม เป็นโปรตีนอีกชนิดหนึ่งซึ่งมีหน้าที่เป็นกาวเคลือบเส้นไฟโบรอินให้ติดกัน โปรตีนชนิดนี้สามารถละลายในน้ำได้และจะหายไปเมื่อเส้นไหมผ่านกระบวนการฟอกขาวไหม



รูปที่ 2.10 ภาพตัวอย่างรังไหมพันธุ์ต่าง ๆ เรียงจากซ้ายไปขวา พันธุ์นางน้อยศรีสะเกษ พันธุ์เหลืองไพโรจน์ พันธุ์ดอกบัว พันธุ์นาสวรรค์ พันธุ์นางสิ่วและพันธุ์ทับทิมสยาม

พันธุ์ไหมแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1) พันธุ์ไทย (Native Thai variety : Polyvoltine) เป็นไหมพันธุ์ดั้งเดิมที่ได้รับการสืบทอดกันมาแต่โบราณ เช่น พันธุ์นางเหลือง พันธุ์นางลาย พันธุ์สำโรง เป็นต้น โดยไหมพันธุ์ไทยจะให้เส้นใยความยาวเฉลี่ย 300 เมตรต่อหนึ่งรัง

2) พันธุ์ไทยลูกผสม (Thai hybrid variety) เป็นไหมที่ได้รับการปรับปรุงสายพันธุ์โดยการผสมระหว่างไหมพันธุ์ไทยและพันธุ์ไหมจากต่างประเทศ เช่น พันธุ์ไทยลูกผสมสกลนคร พันธุ์ไทยลูกผสมอุบลราชธานี พันธุ์ไทยลูกผสมเหลืองไพโรจน์ เป็นต้น โดยไหมพันธุ์ไทยลูกผสมจะให้เส้นใยความยาวเฉลี่ย 700 เมตรต่อหนึ่งรัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) พันธุ์ลูกผสมต่างประเทศ (Foreign hybrid variety : Bivoltine) เป็นไหมที่ได้รับการปรับปรุงสายพันธุ์โดยการผสมระหว่างพันธุ์ไหมจากต่างประเทศ เช่น พันธุ์ลูกผสมนครราชสีมา1 พันธุ์ลูกผสมกำพล1 เป็นต้น โดยไหมพันธุ์ลูกผสมจะให้เส้นใยความยาวเฉลี่ย 1,100 เมตรต่อหนึ่งรัง

2.3.3 ขั้นตอนการผลิตผ้าไหมไทย

2.3.3.1 การปลูกหม่อน

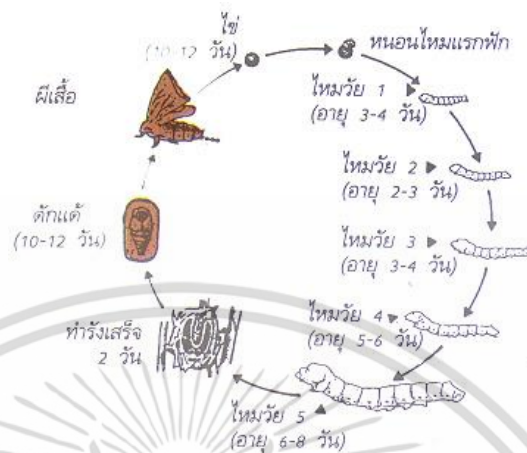
ต้นหม่อนเป็นพืชที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากสำหรับการเลี้ยงไหม เพราะใบของต้นหม่อนเป็นอาหารที่สำคัญสำหรับการเลี้ยงไหมซึ่งมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของเส้นไหมที่ได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปลูกและดูแลต้นหม่อนเพื่อให้ได้ใบหม่อนที่มีคุณภาพเหมาะสมกับการเลี้ยงหนอนไหม



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างแปลงปลูกต้นหม่อนสำหรับเลี้ยงไหม

ต้นหม่อนเป็นพืชที่เจริญเติบโตได้ง่ายและใช้น้ำในการบำรุงรักษาน้อย นิยมขยายพันธุ์ด้วยการปักชำ โดยท่อนพันธุ์ที่นำมาใช้ในการปักชำควรมีอายุตั้งแต่ 4 เดือน ถึง 1 ปี เมื่อนำท่อนพันธุ์ปลูกลงแปลงปลูกแล้วจึงบำรุงด้วยการให้น้ำ กำจัดวัชพืชและใส่ปุ๋ย ต้นหม่อนดังกล่าวสามารถเริ่มตัดใบเพื่อนำไปเป็นอาหารแก่ตัวไหมได้หลังจากการปลูกประมาณ 6 ถึง 8 เดือน

2.3.3.2 การเลี้ยงไหม



รูปที่ 2.12 วงจรชีวิตของหนอนไหม

ไหมเป็นแมลงซึ่งกินใบหม่อนเป็นอาหาร โดยสารอาหารที่ได้รับจากใบหม่อนจะถูกดูดซึมไปเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตในระยะต่าง ๆ และใช้ในกระบวนการผลิตรังไหม ระยะการเจริญเติบโตของไหมสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ระยะ ได้แก่

- 1) ระยะไข่ กินเวลา 10 ถึง 12 วัน จากนั้นไข่จึงฟักเป็นตัวหนอน
- 2) ตัวหนอน กินเวลา 19 ถึง 25 วัน ในระยะนี้ตัวหนอนจะมีการลอกคราบ 3 ถึง 4 ครั้ง และมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นราว 10,000 เท่า โปรตีนซึ่งหนอนไหมดูดซึมได้จากใบหม่อนจะถูกเปลี่ยนเพื่อนำไปใช้ผลิตสารไหมซึ่งต่อมไหมจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 41.97 ของน้ำหนักของตัวหนอน
- 3) ดักแด้ กินเวลา 10 ถึง 12 วัน ในระยะนี้ตัวหนอนจะพ่นเส้นใยออกจากปากเพื่อห่อหุ้มตัวเองจากศัตรูทางธรรมชาติขณะที่ตัวหนอนลอกคราบเป็นผีเสื้อ
- 4) ผีเสื้อ เมื่อตัวหนอนเสร็จสิ้นกระบวนการลอกคราบแล้วกลายเป็นผีเสื้อเจาะออกจากรังไหมเพื่อผสมพันธุ์และวางไข่ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.3 การสาวไหม

การสาวไหม (Silk reeling) คือ กระบวนการดึงเส้นไหมออกจากรังไหมซึ่งสุกได้ที่ดีแล้วเพื่อนำมาผลิตเป็นเส้นไหมขนาดต่าง ๆ เพื่อใช้ในการทอผ้าไหม การสาวไหมทำได้โดยการนำรังไหมซึ่งผ่านการคัดรังที่เสียแล้วออกมาต้มในน้ำที่อุณหภูมิประมาณ 70 ถึง 80 องศาเซลเซียสเพื่อให้กาวไหม (Sericin) อ่อนตัวลงทำให้สามารถดึงเส้นไหมออกมาเป็นเส้นยาวๆได้ โดยความยาวของเส้นไหมที่สาวได้จะขึ้นกับสายพันธุ์ของไหมและคุณภาพของใบหม่อนที่นำมาเลี้ยงตัวไหม

การสาวไหมแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ



รูปที่ 2.13 การสาวไหมด้วยมือ

- 1) การสาวไหมด้วยมือ (Hand reeling) เป็นการสาวเอาเส้นไหมออกจากรังไหมด้วยอุปกรณ์พื้นบ้านตามภูมิปัญญาท้องถิ่น อุปกรณ์ในการสาวไหมด้วยมือมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ พวงสาวไหมแบบพื้นบ้าน (Traditional reeling tool) และพวงสาวไหมแบบปรับปรุง (Modern reeling tool)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 การสาวไหมด้วยเครื่องจักร

2) การสาวไหมด้วยเครื่องจักร (Machine reeling) เป็นการสาวเอาเส้นไหมออกจากรังด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติซึ่งมีความเร็วสูงทำให้ต้องใช้รังไหมที่มีเปอร์เซ็นต์เปลือกรังไม่ต่ำกว่า 19 เปอร์เซ็นต์ เพื่อป้องกันการขาดของเส้นไหม มีข้อดีคือใช้แรงงานในการผลิตต่ำเพียง 2 ถึง 3 คนต่อเครื่องจักรหนึ่งชุดแต่สามารถสาวเส้นไหมได้พร้อมกันมากกว่า 200 หัวสาว เหมาะแก่การผลิตเส้นไหมเพื่อป้อนสู่อุตสาหกรรมทอผ้า

2.3.3.4 การฟอกย้อมสีไหม

การฟอกย้อมสีไหม (Degumming and dyeing of silk yarn) เป็นกระบวนการสำคัญในการผลิตผ้าไหมของไทยซึ่งแตกต่างจากการผลิตผ้าไหมชนิดอื่น ๆ ในขณะที่ผ้าไหมจากที่ต่างประเทศจะมีการย้อมสีหลังจากที่ทอเส้นไหมเป็นผืนผ้าไหมแล้วในขณะที่ผ้าไหมของไทยจะมีการฟอกย้อมสีของเส้นไหมก่อนนำไปทอเป็นผืนผ้า

กระบวนการในการฟอกย้อมสีไหมมี 2 กระบวนการ คือ

1) การลอกกาวไหมหรือเซรีซิน (Sericin) ออกจากเส้นไหม ทำให้เส้นไหมสีเหลืองกลายเป็นสีขาวนวลเนื่องจากสารสีเหลืองของเซรีซินถูกลอกออกไป การลอกกาวออกจากเส้นไหมสามารถทำได้โดยการนำเส้นไหมดิบไปแช่ในน้ำด่างที่ได้จากสารตามธรรมชาติหรือสารเคมีแล้วไปต้มในน้ำสะอาดแล้วจึงล้างเส้นไหมด้วยน้ำร้อน ทำกระบวนการเหล่านี้ซ้ำจนเส้นไหมมีสีขาวนวลสม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

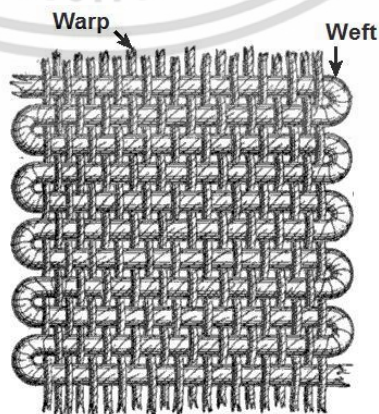
2) การย้อมสีเส้นไหมเพื่อให้เส้นไหมมีสีเหมาะสมต่อการนำไปทอเป็นลวดลายต่าง ๆ การย้อมสีเส้นไหมสามารถทำได้ทั้งโดยสารจากธรรมชาติซึ่งเป็นภูมิปัญญาพื้นบ้านของไทยและโดยสารเคมี

2.3.3.5 การทอผ้าไหม



รูปที่ 2.15 การทอผ้าไหมด้วยมือ

การทอผ้าไหมของไทยเป็นกระบวนการซึ่งมีเทคนิคและกรรมวิธีที่ซับซ้อนแตกต่างกันตามแต่ละท้องถิ่นสะท้อนให้เห็นถึงภูมิปัญญาและเอกลักษณ์ของท้องถิ่นผ่านผืนผ้าที่มีลวดลายเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตน การทอผ้าไหมมีลักษณะการทอเส้นไหม 2 ลักษณะ คือ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.16 รูปแสดงเส้นพุ่ง (Weft) และเส้นยืน (Warp) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานวิชาการเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) เส้นยืน (Warp) คือ เส้นไหมที่เรียงตัวในแนวขวางในกระบวนการทอ โดยเส้นยืนจะถูกเตรียมให้มีความยาวเท่าความยาวของผ้าไหมที่ต้องการทอและจะไม่สามารถเปลี่ยนเส้นยืนในระหว่างการทอผ้าไหมได้ เนื่องจากเส้นยืนเป็นเส้นหลักในการทอผ้าไหมจึงมักใช้เส้นไหมที่มีคุณภาพดีที่สุด และมีขนาดเส้นเล็กเป็นเส้นยืน

2) เส้นพุ่ง (Weft) คือ เส้นไหมที่ใช้สำหรับพุ่งผ่านกระสวยจากซ้ายไปขวาในระหว่างการทอ สลับกับเส้นยืนเพื่อสร้างลวดลาย โดยเส้นพุ่งมักเป็นเส้นไหมที่ถูกย้อมเป็นสีสันท่าง ๆ เพื่อเป็นลวดลายบนผืนผ้าไหมในระหว่างการทออาจมีการใช้เส้นพุ่งมากกว่า 1 เส้นตามจำนวนสีที่ต้องการทอเป็นลวดลาย

2.3.4 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับเส้นไหมไทย

มาตรฐานของเส้นไหมดิบของประเทศไทยถูกกำหนดและควบคุมโดยสำนักงานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ โดยประกาศใช้มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 8000-2555 (Thai Agricultural Standard TAS 8000-2012) เส้นไหมดิบ เล่ม 1 : เส้นไหมไทยสาวมือ (Raw Silk Volume 1 : Hand Reeled Thai Silk Yarn) จำแนกเส้นไหมไทยออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่

1) เส้นไหมหนึ่ง หรือไหมน้อย เป็นเส้นไหมที่ได้จากการสาวไหมจากส่วนเปลือกรังไหมชั้นใน เส้นไหมชนิดนี้จะมีลักษณะเป็นเส้นเรียบ สะอาดไม่มีสิ่งปนเปื้อน มีขนาดและสีสม่ำเสมอ นุ่มมือเมื่อสัมผัส

2) เส้นไหมสอง หรือไหมสาวเลย เป็นเส้นไหมที่ได้จากการสาวไหมจากส่วนเปลือกรังไหมชั้นในและชั้นนอกรวมกัน เส้นไหมชนิดนี้จะมีลักษณะไม่เรียบแต่มีขนาดและสีที่สม่ำเสมอ เส้นไหมสองจะมีลักษณะที่หยาบกว่าเส้นไหมหนึ่ง

3) เส้นไหมสาม หรือไหมดิบ เป็นเส้นไหมที่ได้จากการสาวไหมจากส่วนเปลือกรังไหมชั้นนอกพร้อมกับปูยไหม เส้นไหมชนิดนี้จะมีลักษณะเป็นปมปม แต่ยังมีขนาดและสีที่สม่ำเสมอ มีลักษณะหยาบกว่าเส้นไหมสอง

นอกจากนี้แล้วมาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 8000-2555 ยังแบ่งขนาดของเส้นไหมทั้งสามชนิดออกเป็น 5 กลุ่ม ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 การแบ่งขนาดของเส้นไหมแต่ละชนิด

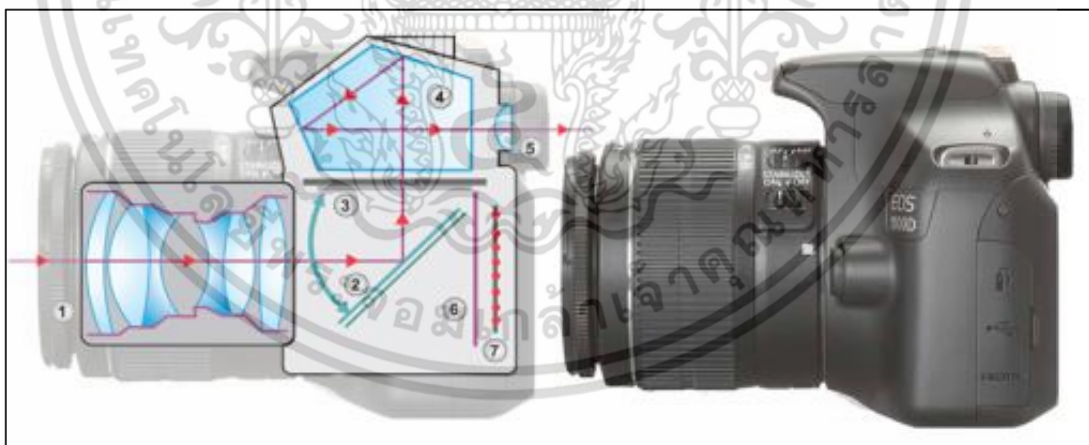
กลุ่ม	ขนาด (Denier)		
	ไหมหนึ่ง	ไหมสอง	ไหมสาม
1	≤ 120	≤ 150	≤ 250
2	121 - 150	151 - 200	251 - 350
3	151 - 200	201 - 250	351 - 450
4	201 - 250	251 - 300	≥ 451
5	≥ 251	≥ 301	

โดยหน่วยที่ใช้ในการวัดขนาดของเส้นไหมทั้งสามชนิด คือ ดีเนียร์ (Denier) เป็นหน่วยที่ใช้ในการวัดความหนาแน่นเชิงเส้นของเส้นใยธรรมชาติหรือเส้นใยประดิษฐ์ มีค่าเป็นน้ำหนักในหน่วยกรัมต่อความยาวของเส้นใย 9,000 เมตร

2.4 การถ่ายภาพเบื้องต้น

ปัจจุบันเทคโนโลยีในการถ่ายภาพได้มีความก้าวหน้าเป็นอย่างมาก กล้องถ่ายภาพในปัจจุบันถูกพัฒนาให้มีความละเอียดที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องควบคู่ไปกับคุณภาพของภาพถ่ายที่มีความคมชัดสูงมากขึ้นตามลำดับ ทำให้นักวิจัยบางส่วนได้นำเอากล้องถ่ายภาพมาใช้เป็นอุปกรณ์ในการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ โดยในส่วนนี้จะกล่าวถึงความรู้เบื้องต้นในการถ่ายภาพและอุปกรณ์สำหรับการถ่ายภาพ

กล้องถ่ายภาพเป็นอุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่บันทึกภาพโดยมีสามารถแบ่งการทำงานออกเป็นสองส่วนได้แก่ ส่วนรับภาพและส่วนประมวลผลทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยส่วนรับภาพจะประกอบไปด้วยกลุ่มชิ้นเลนส์ (Lens) กระจกสะท้อนภาพ (Reflection mirror) และปริซึมห้าเหลี่ยม (Prism) ในขณะที่ส่วนประมวลผลทางอิเล็กทรอนิกส์จะประกอบไปด้วยส่วนควบคุม (Control unit) เซนเซอร์รับภาพ (Image sensor) วงจรแปลงสัญญาณไฟฟ้า (Analog to digital converter circuit) หน่วยประมวลผล (Processor unit) หน้าจอแสดงผล (Image display) และส่วนบันทึกข้อมูล (Data storage unit)



รูปที่ 2.17 ส่วนประกอบของกล้องถ่ายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของกล้องถ่ายภาพจะเริ่มขึ้นเมื่อมีแสงที่สะท้อนจากวัตถุเดินทางผ่านกลุ่มชั้นเลนส์สะท้อนผ่านกระจกสะท้อนแล้วจึงเดินทางผ่านปริซึมห้าเหลี่ยมแล้วเข้าสู่ดวงตาของผู้ใช้งาน เมื่อผู้ใช้งานทำการปรับเปลี่ยนการตั้งค่าต่าง ๆ ผ่านส่วนควบคุมของกล้องถ่ายภาพแล้วกดบันทึกภาพ กล้องถ่ายภาพจะทำการยกกระจกสะท้อนภาพขึ้นเพื่อให้แสงเดินทางต่อมายังเซนเซอร์รับภาพ ความเข้มของแสงที่ตกกระทบลงบนเซนเซอร์รับภาพจะถูกเปลี่ยนเป็นความต่างศักย์ทางไฟฟ้าและถูกส่งต่อไปยังวงจรแปลงสัญญาณไฟฟ้าซึ่งจะเปลี่ยนความต่างศักย์ไฟฟ้างี้ดังกล่าวให้เป็นสัญญาณดิจิทัล สัญญาณดิจิทัลจากวงจรแปลงสัญญาณไฟฟ้าจะถูกส่งต่อไปยังหน่วยประมวลผลเพื่อสร้างเป็นภาพถ่ายซึ่งจะถูกบันทึกลงในส่วนบันทึกข้อมูลและแสดงผลบนหน้าจอแสดงผลเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถสังเกตภาพที่ถูกถ่ายได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

วิทยาพนธ์ชั้นนี้มีวิธีดำเนินงานแบ่งออกเป็นสองส่วน ได้แก่ การสอบเทียบวิธีการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชันโดยใช้สปริงที่ทราบค่านิจสปริง และการศึกษาสมบัติการยืดตัวและความเครียดของเส้นไหมไทยโดยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชัน โดยรายละเอียดของวิธีการดำเนินงานทั้งสองส่วนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การสอบเทียบวิธีการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชันโดยใช้สปริงที่ทราบค่านิจสปริง

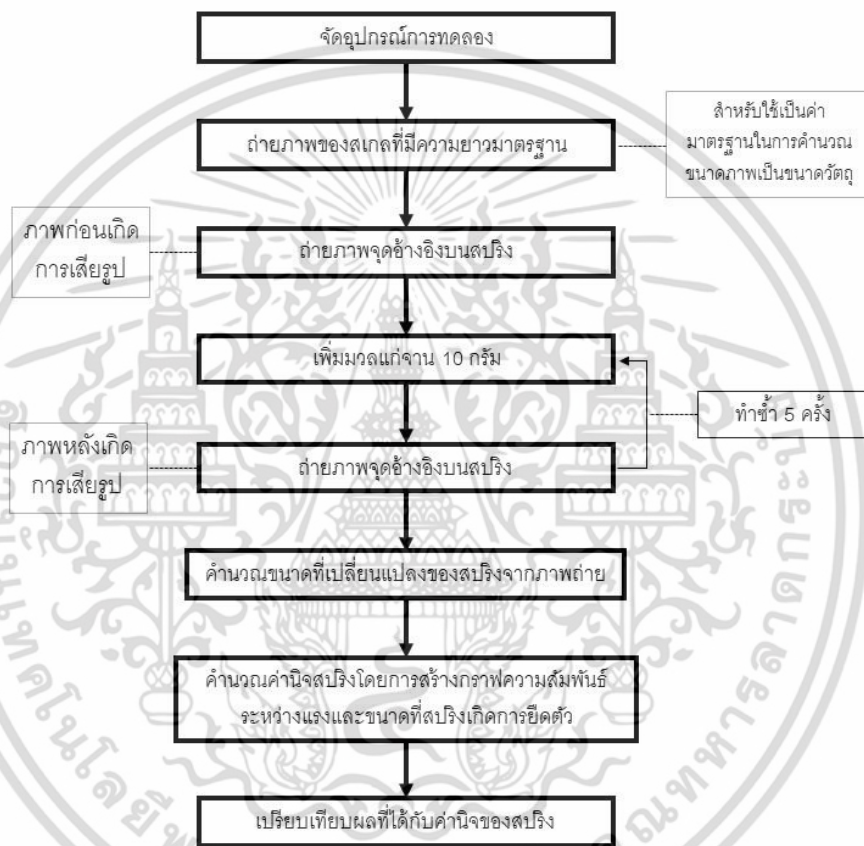
วิธีการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชันในวิทยาพนธ์ชั้นนี้มีการสอบเทียบความถูกต้องของวิธีการวัดเบื้องต้นโดยการวัดค่านิจสปริงของสปริงที่ทราบค่า เพื่อเปรียบเทียบผลความถูกต้องของการวัดและวิธีการวัดว่ามีความใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานมากน้อยเพียงใด โดยใช้สปริงซึ่งมีค่านิจสปริงเท่ากับ 2.6476 นิวตันต่อเมตร เป็นตัวอย่างในการสอบเทียบ โดยการจัดการทดลองในลักษณะเดียวกับการทดลองเพื่อศึกษาเรื่องกฎของฮุกส์ (Hooke's law) ดังรูป



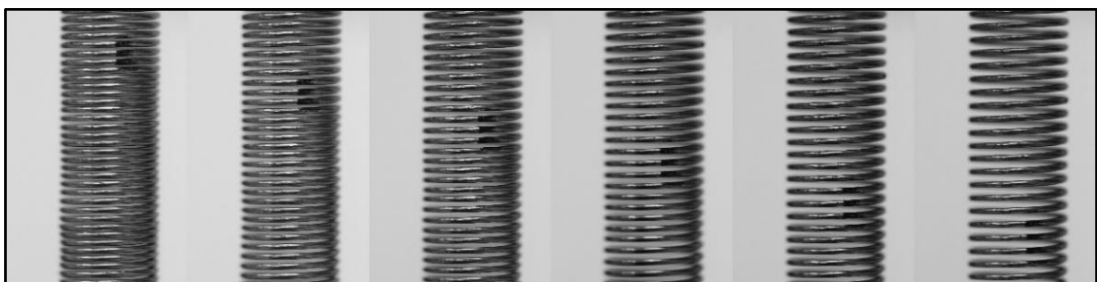
รูปที่ 3.1 การจัดอุปกรณ์เพื่อวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับครูเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นใบเซปรีะโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากจัดอุปกรณ์การทดลองตามรูปที่ 3.1 เรียบร้อยแล้ว ถ่ายภาพของจุดอ้างอิง (Reference point) ที่ทำไว้บนสปริงเป็นภาพของตัวอย่างก่อนเกิดการเสียรูป (Un-deformed) แล้ว จึงเริ่มป้อนแรงกระทำแก่สปริงโดยเริ่มเพิ่มมวลขนาด 10 กรัม และถ่ายภาพของจุดอ้างอิง โดยให้ ภาพถ่ายของจุดอ้างอิงหลังจากที่ป้อนแรงแก่สปริงเป็นภาพของตัวอย่างหลังเกิดการเสียรูป (Deformed) จากนั้นค่อยๆเพิ่มมวลแก่สปริง ดังขั้นตอนที่แสดงในรูปที่ 3.2



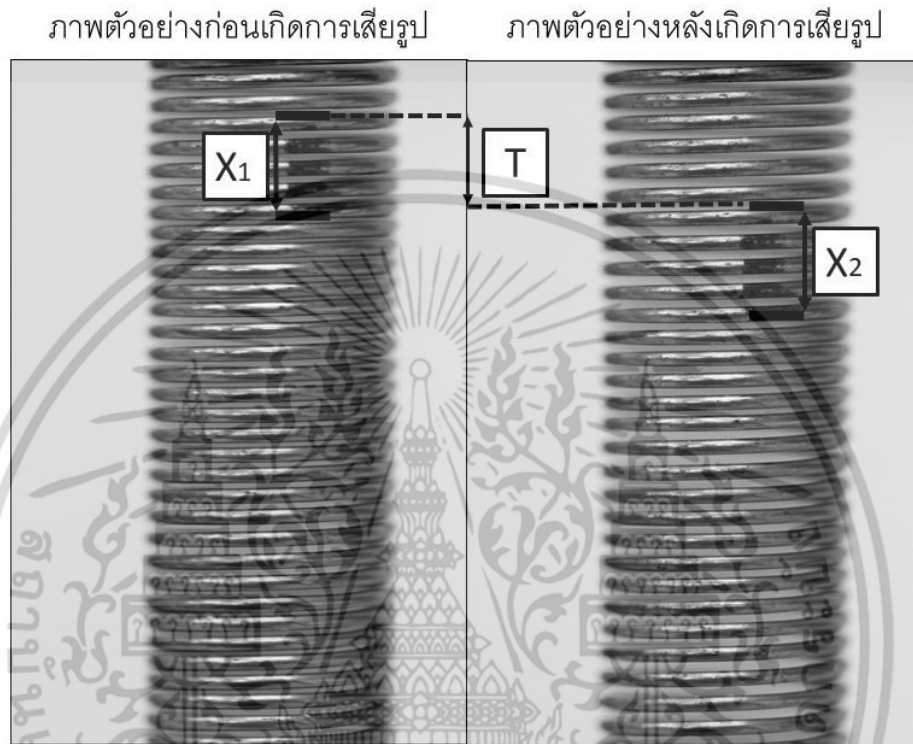
รูปที่ 3.2 แผนภาพขั้นตอนการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชัน



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างภาพถ่ายที่ได้จากกระบวนการทำให้เสียรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการเท่านั้น เมื่ออยู่ภายใต้เงื่อนไขของประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ผลหลังเสร็จสิ้นการทดลองทำได้โดยการนำภาพถ่ายที่ได้มาตรวจสอบเพื่อหาตำแหน่งของพิกเซล (Pixel) ที่ปรากฏภาพของจุดอ้างอิง จากนั้นวิเคราะห์ผลโดยการคำนวณย้อนกลับเป็นความยาวของสปริงที่ยืดออกโดยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชัน ดังแสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การคำนวณความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปของสปริงด้วยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชัน

จากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้สามารถศึกษาการยึดตัวรวมของสปริงได้โดยอาศัยสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Total Elongation} = T + (X_2 - X_1) \quad (3.1)$$

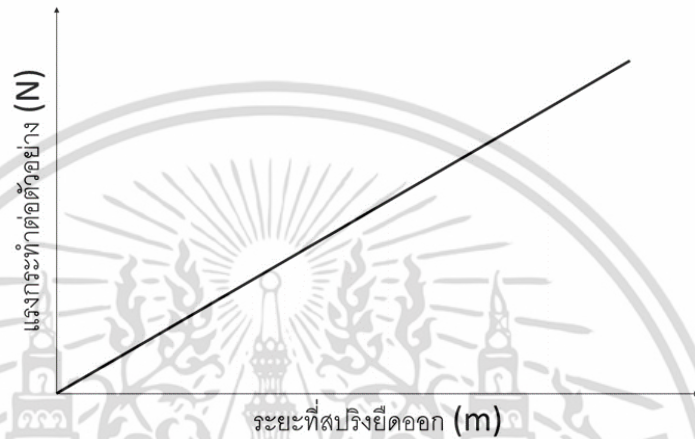
เมื่อ T คือ ระยะที่เปลี่ยนแปลงไปของจุดอ้างอิง

X_1 คือ ระยะของสปริงก่อนเกิดการเสียรูป

X_2 คือ ระยะของสปริงหลังเกิดการเสียรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะที่สปริงยืดตัวออกซึ่งสามารถศึกษาได้ด้วยสมการที่ 3.1 มีค่าเป็นจำนวนของพิกเซล (Pixel) ของภาพซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลง ระยะดังกล่าวสามารถเปลี่ยนให้อยู่ในหน่วยของเมตรได้โดยการเปรียบเทียบขนาดของภาพโดยการวัดขนาดของภาพที่ทราบความยาวแน่นอนในหน่วยเมตรและเปรียบเทียบให้อยู่ในอัตราส่วนเมตรต่อพิกเซลดังแสดงในส่วนต่อไป



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำต่อสปริงและระยะที่สปริงยืดออก

จากกฎของฮุคส์ (Hooke's law) สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างระยะที่สปริงยืดตัวออกและแรงที่กระทำต่อสปริงดังรูปที่ 3.5 ได้โดยอาศัยสมการดังต่อไปนี้

$$F = kX \quad (3.2)$$

เมื่อ F คือ แรงที่กระทำต่อสปริง

X คือ ระยะที่สปริงเกิดการยืดตัว

k คือ ค่านิจสปริง

จากสมการที่ 3.2 ค่านิจสปริง (k) ที่ได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถคำนวณได้โดยการคำนวณค่าความชันของสมการเส้นตรงจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การศึกษาสมบัติการยืดตัวและความเครียดของเส้นไหมไทยโดยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชัน

การศึกษาสมบัติการยืดตัวและความเครียดของเส้นไหมไทยโดยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชันในวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้ได้เลือกใช้เส้นไหมพันธุ์ไทยลูกผสมเหลืองไฟโรจน์เป็นตัวอย่างในการศึกษา เนื่องจากไหมพันธุ์ดังกล่าวเป็นไหมที่ได้รับการส่งเสริมให้เกษตรกรเพาะเลี้ยงเนื่องจากสามารถผลิตเส้นไหมได้ในปริมาณมาก

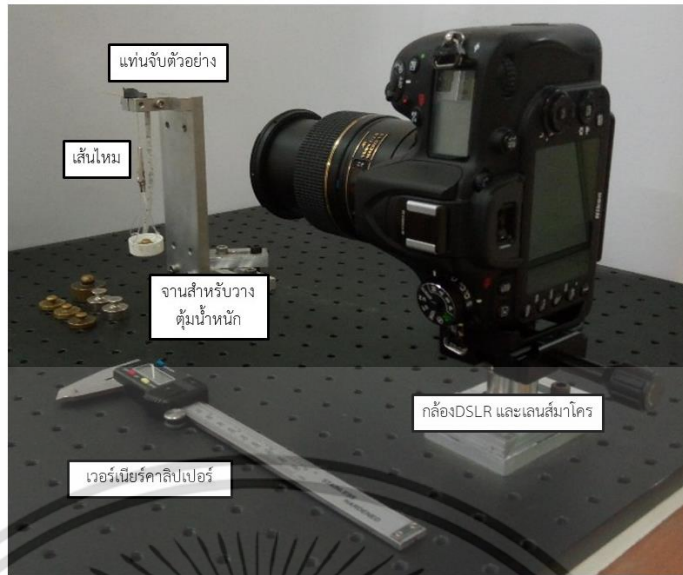


รูปที่ 3.6 ตัวอย่างรังไหมพันธุ์เหลืองไฟโรจน์ที่ใช้ในงานวิจัย

โดยเส้นใยไหมพันธุ์เหลืองไฟโรจน์ที่ใช้เป็นตัวอย่างในการวิจัยจะแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่

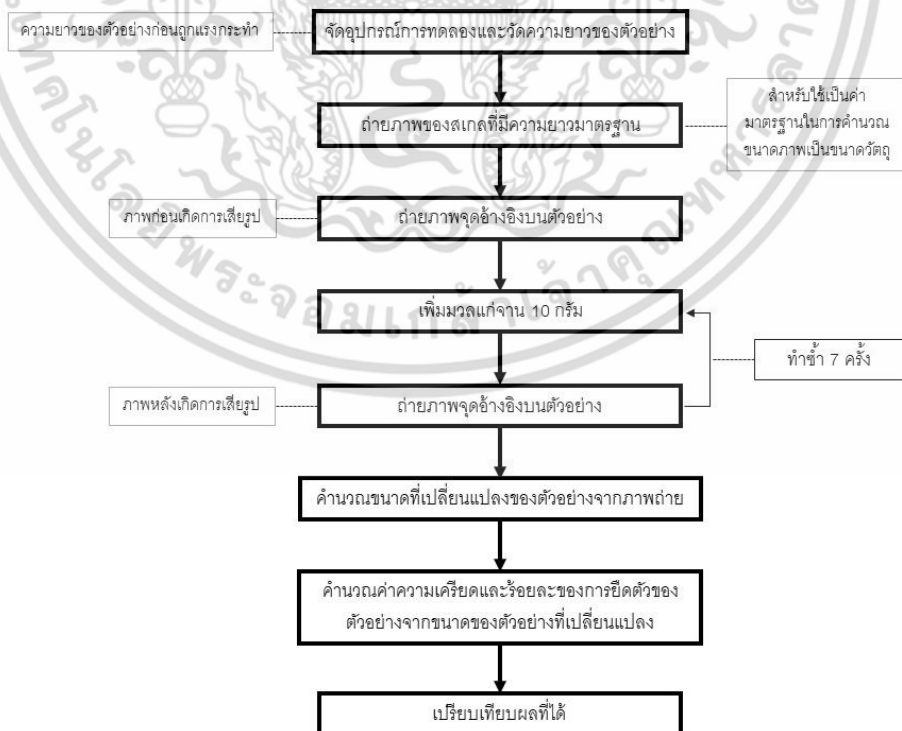
- 1) เส้นไหมหนึ่งหรือไหมน้อย ได้จากการสาวไหมจากส่วนเปลือกรังไหมชั้นใน มีขนาด 166 ดีเนียร์ อยู่ในกลุ่มเส้นไหมขนาดที่3
- 2) เส้นไหมสองหรือไหมสาวเลย ได้จากการสาวไหมจากส่วนเปลือกรังไหมชั้นในและชั้นนอก รวมกัน มีขนาด 370 ดีเนียร์ อยู่ในกลุ่มเส้นไหมขนาดที่4
- 3) เส้นไหมสามหรือไหมสับ ได้จากการสาวไหมจากส่วนเปลือกรังไหมชั้นนอก มีขนาด 711 ดีเนียร์ อยู่ในกลุ่มเส้นไหมขนาดที่5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบให้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 การจัดอุปกรณ์เพื่อวัดการยืดตัวของเส้นไหมด้วยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์ริเลชัน

โดยการจัดการทดลองในลักษณะเดียวกับการทดลองเพื่อศึกษาเรื่องกฎของฮุคส์ดังรูปที่ 3.7 และถ่ายภาพของจุดอ้างอิงที่ทำไว้บนเส้นไหมในระหว่างกระบวนการทำให้เสียรูปตั้งขึ้นตอนที่แสดงด้วยรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แผนภาพขั้นตอนการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์ริเลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นใบเซอร์นี้เห็นเป็นการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วจึงนำภาพถ่ายที่ได้มาวิเคราะห์ผลหาความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการทำให้เสียรูป โดยการนำภาพถ่ายที่ได้มาตรวจสอบหาตำแหน่งของพิกเซลที่ปรากฏภาพของจุดอ้างอิง จากนั้นวิเคราะห์ผลโดยการคำนวณความยาวของเส้นใหม่ที่ยึดออกด้วยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชันดังแสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การคำนวณความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปของเส้นไหมโดยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชัน

เนื่องจากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นบนเส้นใยไหมในระหว่างกระบวนการทำให้เสียรูปพบว่าจุดอ้างอิงบนตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงเพียงลักษณะเดียว คือ การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของจุดอ้างอิง ดังนั้นผลการทดลองที่ได้จากการวิเคราะห์ตำแหน่งของจุดอ้างอิงจึงสามารถใช้แทนค่าความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปของเส้นใยและสามารถนำมาวิเคราะห์เป็นความเครียดและร้อยละของการยืดตัวของเส้นใยได้โดยสมการดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ความเครียด} = \frac{\delta}{L_0} \quad (3.3)$$

$$\text{ร้อยละของการยืดตัว} = \frac{\delta}{L_0} \times 100\% \quad (3.4)$$

เมื่อ δ คือ ความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปของตัวอย่างหลังถูกแรงภายนอกกระทำ

L_0 คือ ความยาวของตัวอย่างก่อนถูกแรงภายนอกกระทำ

จากนั้นจึงสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดที่สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.3 และแรงที่กระทำต่อตัวอย่างเพื่อหาสมการเส้นตรงจากกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยการเปรียบเทียบค่าความชันจากกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวกับผลการทดลองที่ได้จากเครื่องทดสอบแรงดึง Instron model 5566 ของสถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ เพื่อเปรียบเทียบหาความแตกต่างของการวัดจากวิธีการทั้งสองแบบ



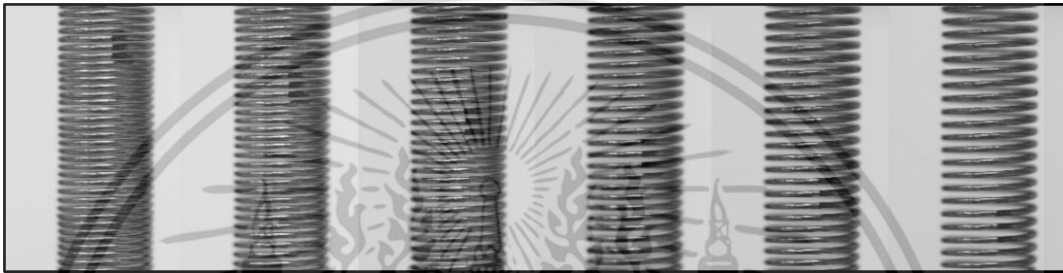
รูปที่ 3.10 เครื่องทดสอบแรงดึง Instron model 5566

จากนั้นจึงนำความเครียดและร้อยละของการยืดตัวของเส้นไหมซึ่งสามารถคำนวณได้โดยสมการที่ 3.3 และ 3.4 ของเส้นไหมแต่ละชนิดมาเปรียบเทียบถึงคุณสมบัติการยืดตัวและความเครียดที่เกิดขึ้นกับเส้นไหมแต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การเปลี่ยนขนาดของวัตถุที่ปรากฏบนภาพถ่ายเป็นขนาดของวัตถุจริง

วิทยานิพนธ์ชิ้นนี้ได้ทำการศึกษาความเปลี่ยนแปลงขนาดของวัตถุโดยใช้หลักการดิจิทัลอิมเมจคอร์ริเลชันในการเปรียบเทียบถึงผลที่เกิดขึ้นกับวัตถุที่มีต่อแรงกระทำ โดยการถ่ายภาพของวัตถุในระหว่างกระบวนการทำให้เสียรูปและใช้ภาพถ่ายดังกล่าวในการศึกษาความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างภาพถ่ายที่ได้จากกระบวนการทำให้เสียรูป

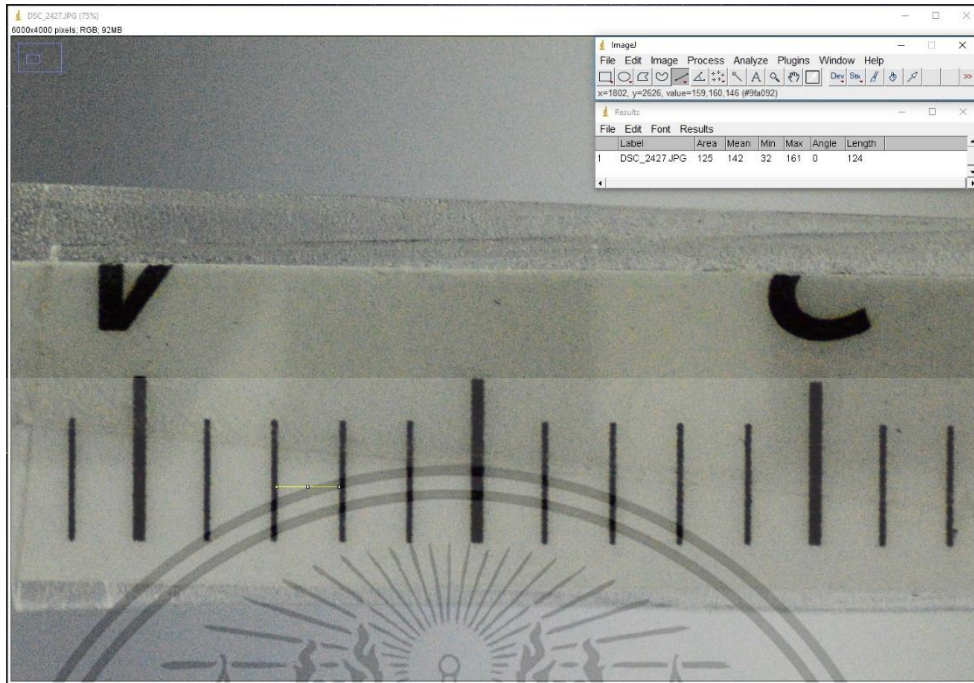
โดยความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นซึ่งสามารถสังเกตได้จากภาพถ่ายจะมีค่าเป็นจำนวนของพิกเซลของภาพของวัตถุที่เกิดการเปลี่ยน โดยในขั้นตอนนี้จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงจำนวนดังกล่าวให้อยู่ในรูปของขนาดของวัตถุจริงโดยการคำนวณขนาดของภาพของแต่ละพิกเซลของภาพถ่ายโดยใช้โปรแกรม ImageJ ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) ถ่ายภาพของสเกลที่มีขนาดเป็นมาตรฐานโดยจัดให้สเกลดังกล่าวอยู่ในระนาบเดียวกับตัวอย่างที่ต้องการศึกษาการยืดตัว
- 2) วัดจำนวนของพิกเซลที่เกิดภาพของสเกลที่ต้องการด้วยโปรแกรม ImageJ เพื่อหาจำนวนของพิกเซลต่อขนาดความยาวหนึ่งมิลลิเมตร จากนั้นจึงเปลี่ยนจำนวนดังกล่าวเป็นขนาดของภาพที่ปรากฏบนพิกเซลของกล้องถ่ายภาพหนึ่งพิกเซลดังรูปที่ 3.12 โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$\text{ขนาดของวัตถุที่ปรากฏเป็นภาพ} = \frac{1 \text{ มิลลิเมตร}}{\text{จำนวนพิกเซลที่ปรากฏภาพสเกลขนาดหนึ่งมิลลิเมตร}} \quad (3.5)$$

- 3) ทำซ้ำเพื่อหาค่าเฉลี่ยสำหรับนำไปใช้ในการทดลอง

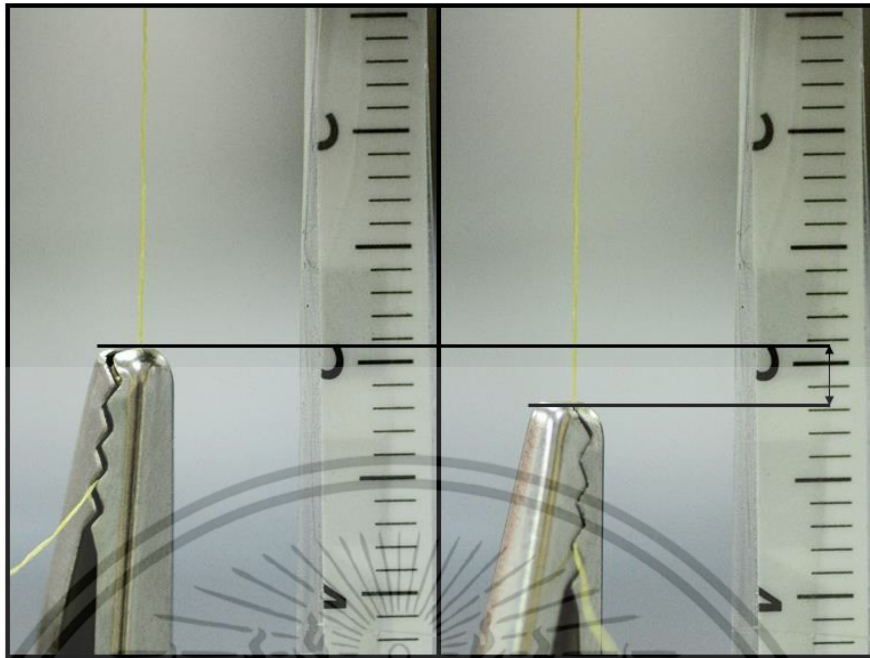
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 การหาจำนวนของพิกเซลที่ปรากฏบนภาพถ่ายด้วยโปรแกรม ImageJ

จากภาพที่ 3.12 จะสามารถสังเกตได้ว่าโปรแกรม ImageJ สามารถวัดขนาดของภาพของสเกลขนาดหนึ่งมิลลิเมตรได้เป็นจำนวน 124 พิกเซล เมื่อนำจำนวนพิกเซลดังกล่าวมาแทนค่าในสมการที่ 3.5 จะสามารถคำนวณขนาดของภาพที่ปรากฏบนพิกเซลหนึ่งพิกเซลได้เท่ากับ 8.0645 ไมโครเมตรต่อพิกเซล ซึ่งค่าขนาดของภาพดังกล่าวจะถูกใช้เป็นค่ามาตรฐานในการเปรียบเทียบจำนวนพิกเซลของภาพถ่ายที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างกระบวนการทำให้เสียรูปเป็นขนาดของวัตถุจริงที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเพื่อใช้ในการวิเคราะห์สมบัติการยึดตัวและความเครียดของตัวอย่างต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างการเปรียบเทียบการคำนวณความเปลี่ยนแปลงของวัตถุด้วย
วิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชันโดยใช้โปรแกรม ImageJ

จากรูปที่ 3.13 จะสามารถสังเกตเห็นได้ว่าตัวอย่างในภาพทั้งสองเกิดการเปลี่ยนแปลงไป
ประมาณสองมิลลิเมตรโดยใช้สเกลด้านข้างเป็นตัวอ้างอิง ซึ่งเมื่อตรวจสอบภาพถ่ายทั้งสองด้วย
โปรแกรม ImageJ แล้วพบว่าตัวอย่างเกิดการเปลี่ยนแปลงไป 2.5478 มิลลิเมตร หรือ 0.0025 เมตร
ซึ่งสอดคล้องกับสิ่งที่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า

3.4 อุปกรณ์ถ่ายภาพที่ใช้ในการวิจัย

กล้องถ่ายภาพดิจิทัลชนิดสะท้อนภาพเลนส์เดี่ยวและเลนส์มาโครสำหรับถ่ายภาพเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในงานวิจัยชิ้นนี้ โดยในงานวิจัยชิ้นนี้ได้เลือกใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลชนิดสะท้อนภาพเลนส์เดี่ยวและเลนส์มาโคร 2 รุ่นเป็นอุปกรณ์ในการบันทึกผลการทดลองโดยมีรายละเอียดดังนี้

- 1) กล้องดิจิทัลชนิดสะท้อนภาพเลนส์เดี่ยว ยี่ห้อ Canon รุ่น 60D และเลนส์มาโคร ยี่ห้อ Canon รุ่น EF 100mm f2.8L Macro IS USM



รูปที่ 3.14 Canon 60D และ Canon 100mm f2.8L Macro lens

กล้องดิจิทัลชนิดสะท้อนภาพเลนส์เดี่ยว ยี่ห้อ Canon รุ่น 60D ใช้เซนเซอร์รับภาพชนิดสารกึ่งตัวนำเมทัลออกไซด์ (CMOS : Complementary Metal-Oxide Semiconductor) ขนาด 22.3x14.9 มิลลิเมตร มีความละเอียดสูงสุด 18.1 ล้านพิกเซล

เลนส์มาโคร ยี่ห้อ Canon รุ่น EF 100mm f2.8L Macro IS USM ประกอบด้วยชิ้นเลนส์ 12 กลุ่ม จำนวน 15 ชิ้น มีมุมรับภาพ 23.4 องศา ให้กำลังขยายภาพสูงสุดในอัตราส่วน 1:1 มีระยะโฟกัสใกล้สุดอยู่ที่ 30.2 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) กล้องดิจิทัลชนิดสะท้อนภาพเลนส์เดี่ยว ยี่ห้อ Nikon รุ่น D7100 และเลนส์มาโคร ยี่ห้อ Tamron รุ่น 90mm f2.8 Macro



รูปที่ 3.15 Nikon D7100 และ Tamron 90mm f2.8 Macro

กล้องดิจิทัลชนิดสะท้อนภาพเลนส์เดี่ยว ยี่ห้อ Nikon รุ่น D7100 ใช้เซนเซอร์รับภาพชนิดสารกึ่งตัวนำเมทัลออกไซด์ (CMOS : Complementary Metal-Oxide Semiconductor) ขนาด 23.5x15.6 มิลลิเมตร มีความละเอียดสูงสุด 24.1 ล้านพิกเซล

เลนส์มาโคร ยี่ห้อ Tamron รุ่น 90mm f2.8 Macro ประกอบด้วยชิ้นเลนส์ 9 กลุ่ม จำนวน 10 ชิ้น มีมุมรับภาพ 27 องศา ให้กำลังขยายภาพสูงสุดในอัตราส่วน 1:1 มีระยะโฟกัสใกล้สุดอยู่ที่ 11.4 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 สถิติศาสตร์ที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ข้อมูล

ในงานวิจัยขั้นนี้ได้มีการใช้ความรู้ทางสถิติเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองเพื่อลดความคลาดเคลื่อนและเพิ่มความถูกต้องให้กับผลการทดลอง

1) ค่าเฉลี่ย (Mean) คือ ค่าที่บอกค่ากลางของข้อมูลเกิดจากการนำผลรวมของข้อมูลทั้งหมดมาหารด้วยจำนวนของข้อมูลดังกล่าว

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad (3.6)$$

2) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) คือ ค่าที่บ่งบอกการกระจายตัวของข้อมูลจากค่าเฉลี่ย ยิ่งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าน้อยก็ยิ่งแสดงว่าข้อมูลมีการกระจายตัวต่ำ สามารถคำนวณได้โดยสมการ

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n}} \quad (3.7)$$

3) ค่าความไม่แน่นอนในการวัด (Uncertainty) คือ ค่าที่บอกความคลาดเคลื่อนในการวัดค่าจากการทดลอง สามารถใช้ทำนายช่วงของค่าที่วัดได้ในครั้งต่อไปได้ สามารถคำนวณได้โดยสมการ

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (3.8)$$

4) เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (Percentage Difference) คือ ค่าที่บ่งบอกความแตกต่างของข้อมูลสองชุด ยิ่งค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างน้อยก็ยิ่งแสดงว่าข้อมูลทั้งสองชุดมีความแตกต่างกันน้อย สามารถคำนวณได้โดยสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง} = \frac{2|X_1 - X_2|}{(X_1 + X_2)} \times 100\% \quad (3.9)$$

5) เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (Percentage error) คือ ค่าที่บ่งบอกถึงความคลาดเคลื่อนของข้อมูลที่ได้จากการทดลองกับข้อมูลที่เป็นค่ามาตรฐาน สามารถคำนวณได้โดยสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน} = \frac{(\text{ค่ามาตรฐาน} - \text{ค่าที่ได้จากการทดลอง})}{\text{ค่ามาตรฐาน}} \times 100\% \quad (3.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล

ผลการวิจัยในวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้สามารถแบ่งออกเป็นสองส่วน ได้แก่ ผลการสอบเทียบวิธีการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชันโดยใช้สปริงที่ทราบค่านิจสปริง และ ผลการศึกษาสมบัติการยืดตัวและความเครียดของเส้นไหมไทยโดยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชัน โดยรายละเอียดของผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผลของทั้งสองส่วนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ผลการสอบเทียบวิธีการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชันโดยใช้สปริงที่ทราบค่านิจสปริง

4.1.1 ผลการสอบเทียบวิธีการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชันโดยใช้สปริงที่ทราบค่านิจสปริงด้วยกล้องถ่ายภาพยี่ห้อ Canon รุ่น 60D และ เลนส์มาโครยี่ห้อ Canon รุ่น EF 100mm f2.8L Macro IS USM

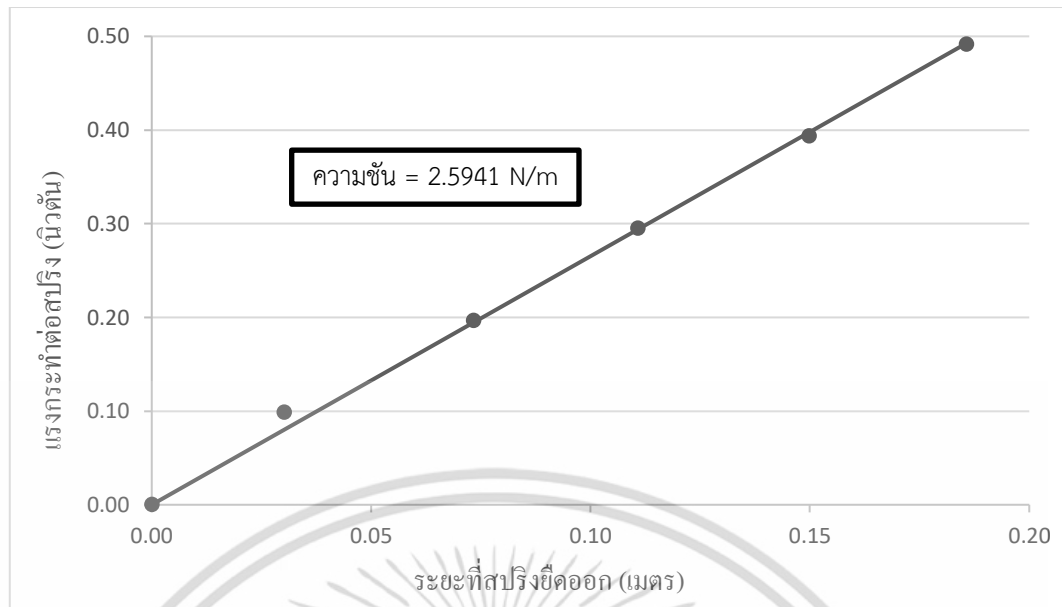
ในการวิจัยนี้ได้ใช้สปริงซึ่งมีค่านิจสปริง 2.6476 นิวตันต่อเมตร เป็นตัวอย่างในการสอบเทียบวิธีการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชัน โดยการจัดการทดลองดังที่แสดงรายละเอียดไว้ในขั้นตอนที่ 3.1 โดยผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

4.1.1.1 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชัน ครั้งที่ 1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองครั้งที่ 1

มวลที่ใส่ในจาน (กิโลกรัม)	แรงกระทำต่อ สปริง (นิวตัน)	ตำแหน่งที่ เปลี่ยนแปลงไป ของจุดอ้างอิง (พิทเชล)	ขนาดที่ เปลี่ยนแปลงไป ของจุดอ้างอิง (พิทเชล)	การยืดตัวของสปริง (พิทเชล)	การยืดตัวของสปริง (เมตร)
0	0	0	0	0	0
0.0100	0.0983	302	29	331	0.0302
0.0200	0.1967	724	81	805	0.0734
0.0300	0.2950	1108	108	1216	0.1109
0.0400	0.3934	1494	150	1644	0.1499
0.0500	0.4917	1854	183	2037	0.1857

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก

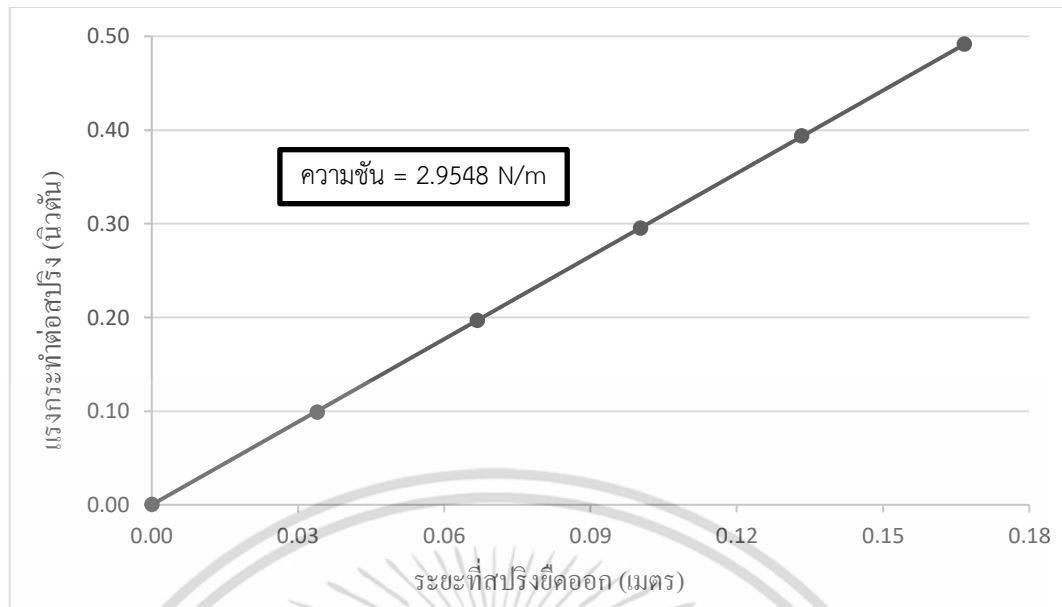
จากตารางที่ 4.1 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงในหน่วยนิวตันและระยะทางที่สปริงยืดออกในหน่วยเมตรได้ดังรูปที่ 4.1 โดยค่านิจสปริงที่สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังกล่าว มีค่า 2.5941 นิวตันต่อเมตร คลาดเคลื่อนจากค่ามาตรฐานของสปริงที่ใช้ในการทดลอง 2.0207 เปอร์เซ็นต์

4.1.1.2 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชัน ครั้งที่ 2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองครั้งที่ 2

มวลที่ใส่ในจาน (กิโลกรัม)	แรงกระทำต่อสปริง (นิวตัน)	ตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงไปของจุดอ้างอิง (พิกเซล)	ขนาดที่เปลี่ยนแปลงไปของจุดอ้างอิง (พิกเซล)	การยืดตัวของสปริง (พิกเซล)	การยืดตัวของสปริง (เมตร)
0	0	0	0	0	0
0.0100	0.0983	714	32	746	0.0339
0.0200	0.1967	1399	71	1470	0.0668
0.0300	0.2950	2103	102	2205	0.1002
0.0400	0.3934	2798	134	2932	0.1333
0.0500	0.4917	3502	165	3667	0.1667

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก

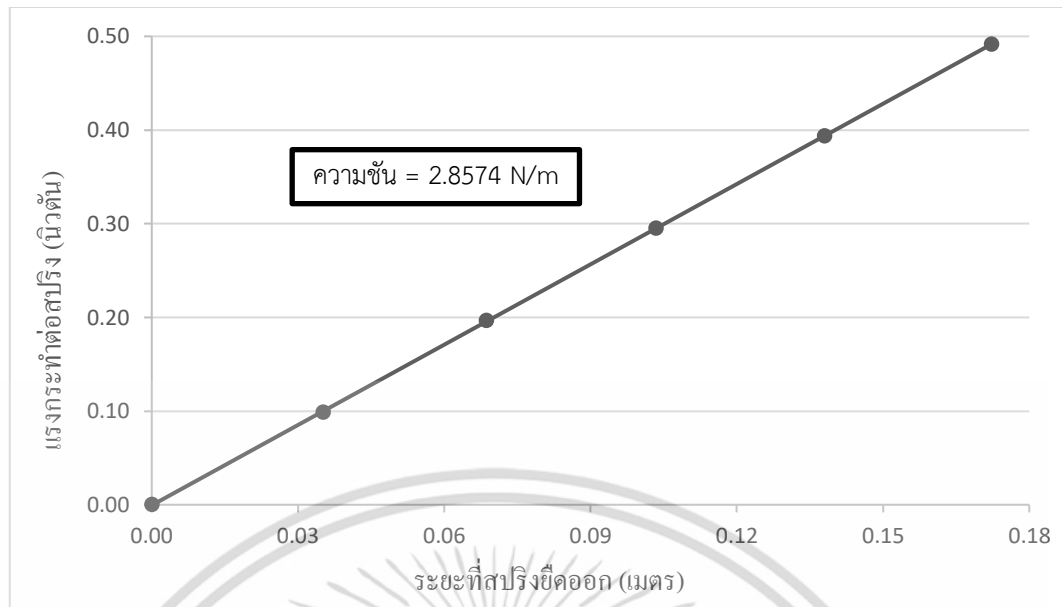
จากตารางที่ 4.2 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงในหน่วยนิวตันและระยะทางที่สปริงยืดออกในหน่วยเมตรได้ดังรูปที่ 4.2 โดยค่านิจสปริงที่สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังกล่าว มีค่า 2.9548 นิวตันต่อเมตร คลาดเคลื่อนจากค่ามาตรฐานของสปริงที่ใช้ในการทดลอง 11.6030 เปอร์เซ็นต์

4.1.1.3 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์ริเลชัน ครั้งที่ 3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองครั้งที่ 3

มวลที่ใส่ในจาน (กิโลกรัม)	แรงกระทำต่อสปริง (นิวตัน)	ตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงไปของจุดอ้างอิง (พิกเซล)	ขนาดที่เปลี่ยนแปลงไปของจุดอ้างอิง (พิกเซล)	การยืดตัวของสปริง (พิกเซล)	การยืดตัวของสปริง (เมตร)
0	0	0	0	0	0
0.0100	0.0983	692	37	729	0.0352
0.0200	0.1967	1359	64	1423	0.0687
0.0300	0.2950	2036	107	2143	0.1034
0.0400	0.3934	2723	137	2860	0.1380
0.0500	0.4917	3408	163	3571	0.1723

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก

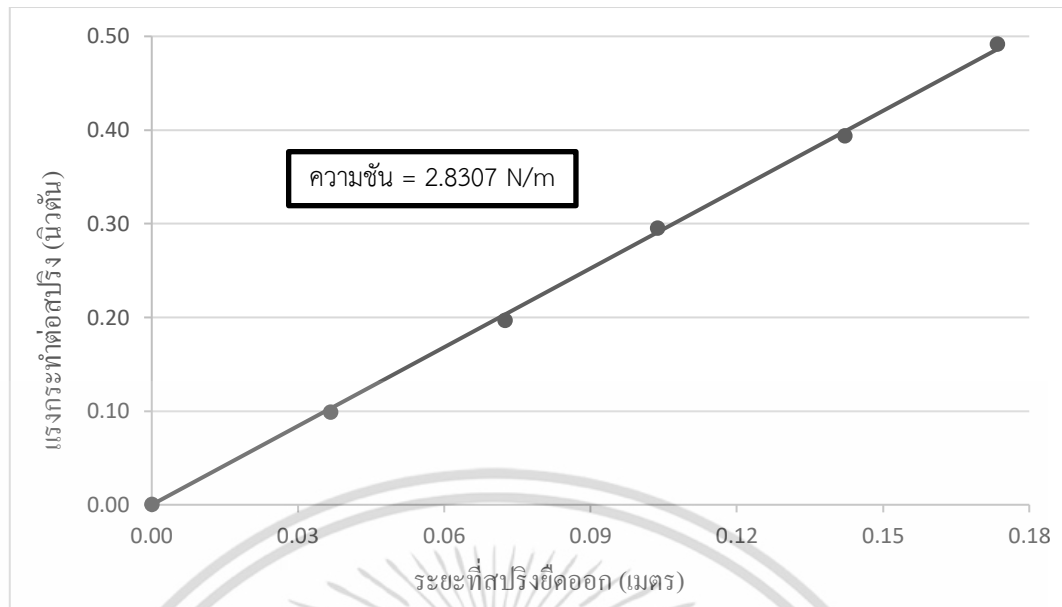
จากตารางที่ 4.3 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงในหน่วยนิวตันและระยะทางที่สปริงยืดออกในหน่วยเมตรได้ดังรูปที่ 4.3 โดยค่านิจสปริงที่สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังกล่าว มีค่า 2.8574 นิวตันต่อเมตร คลาดเคลื่อนจากค่ามาตรฐานของสปริงที่ใช้ในการทดลอง 7.9241 เปอร์เซ็นต์

4.1.1.4 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์ริเลชัน ครั้งที่ 4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองครั้งที่ 4

มวลที่ใส่ในจาน (กิโลกรัม)	แรงกระทำต่อสปริง (นิวตัน)	ตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงไปของจุดอ้างอิง (พิกเซล)	ขนาดที่เปลี่ยนแปลงไปของจุดอ้างอิง (พิกเซล)	การยืดตัวของสปริง (พิกเซล)	การยืดตัวของสปริง (เมตร)
0	0	0	0	0	0
0.0100	0.0983	708	47	755	0.0367
0.0200	0.1967	1404	84	1488	0.0724
0.0300	0.2950	2015	117	2132	0.1038
0.0400	0.3934	2767	154	2921	0.1422
0.0500	0.4917	3376	189	3565	0.1735

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก

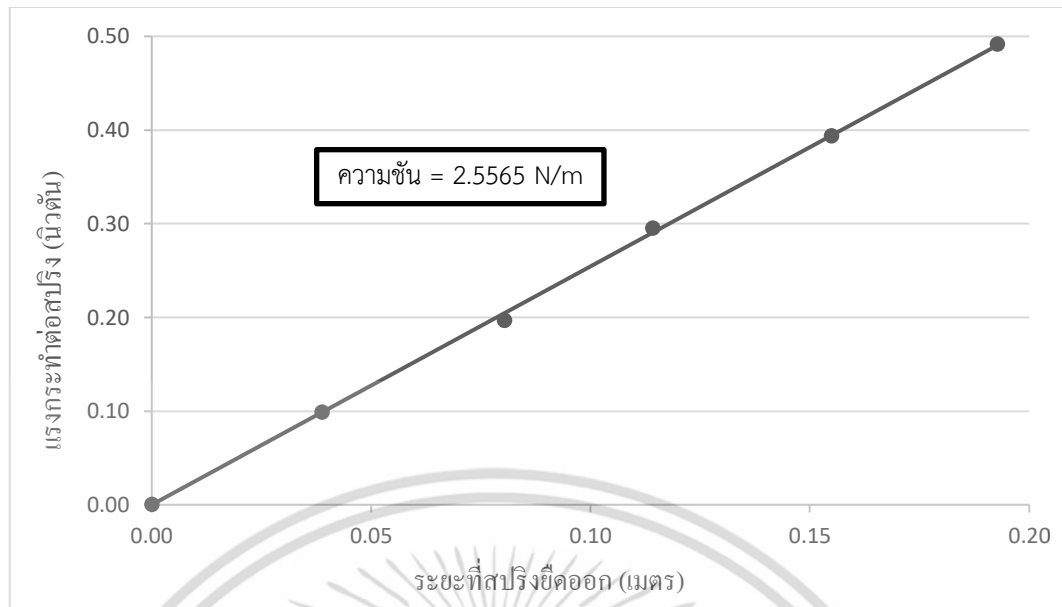
จากตารางที่ 4.4 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงในหน่วยนิวตันและระยะทางที่สปริงยืดออกในหน่วยเมตรได้ดังรูปที่ 4.4 โดยค่านิจสปริงที่สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังกล่าว มีค่า 2.8307 นิวตันต่อเมตร คลาดเคลื่อนจากค่ามาตรฐานของสปริงที่ใช้ในการทดลอง 6.9157 เปอร์เซ็นต์

4.1.1.5 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชัน ครั้งที่ 5

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองครั้งที่ 5

มวลที่ใส่ในจาน (กิโลกรัม)	แรงกระทำต่อสปริง (นิวตัน)	ตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงไปของจุดอ้างอิง (พิกเซล)	ขนาดที่เปลี่ยนแปลงไปของจุดอ้างอิง (พิกเซล)	การยืดตัวของสปริง (พิกเซล)	การยืดตัวของสปริง (เมตร)
0	0	0	0	0	0
0.0100	0.0983	451	48	499	0.0388
0.0200	0.1967	931	103	1034	0.0804
0.0300	0.2950	1332	137	1469	0.1142
0.0400	0.3934	1808	184	1992	0.1549
0.0500	0.4917	2253	226	2479	0.1927

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก

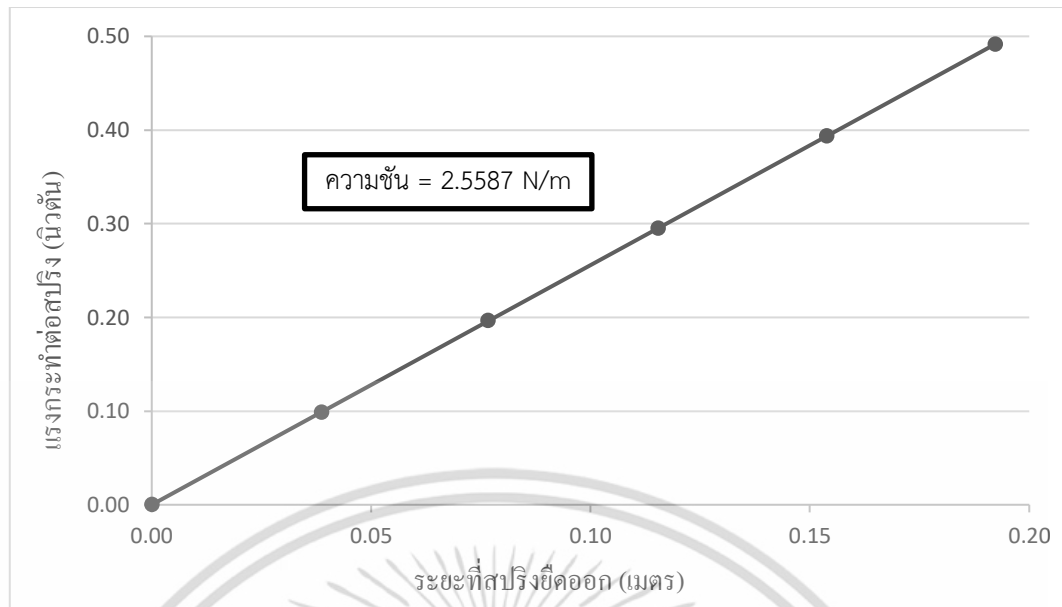
จากตารางที่ 4.5 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงในหน่วยนิวตันและระยะทางที่สปริงยืดออกในหน่วยเมตรได้ดังรูปที่ 4.5 โดยค่านิจสปริงที่สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังกล่าว มีค่า 2.5565 นิวตันต่อเมตร คลาดเคลื่อนจากค่ามาตรฐานของสปริงที่ใช้ในการทดลอง 3.4409 เปอร์เซ็นต์

4.1.1.6 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชัน ครั้งที่ 6

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองครั้งที่ 6

มวลที่ใส่ในจาน (กิโลกรัม)	แรงกระทำต่อสปริง (นิวตัน)	ตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงไปของจุดอ้างอิง (พิกเซล)	ขนาดที่เปลี่ยนแปลงไปของจุดอ้างอิง (พิกเซล)	การยืดตัวของสปริง (พิกเซล)	การยืดตัวของสปริง (เมตร)
0	0	0	0	0	0
0.0100	0.0983	453	45	498	0.0387
0.0200	0.1967	893	93	986	0.0767
0.0300	0.2950	1346	139	1485	0.1155
0.0400	0.3934	1794	185	1979	0.1539
0.0500	0.4917	2246	226	2472	0.1922

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก

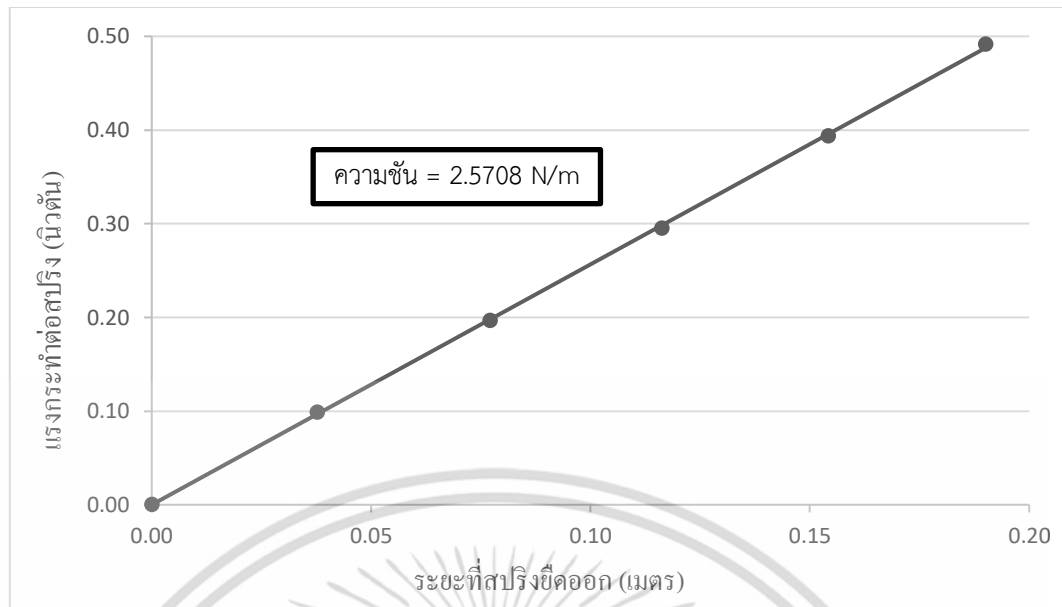
จากตารางที่ 4.6 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงในหน่วยนิวตันและระยะทางที่สปริงยืดออกในหน่วยเมตรได้ดังรูปที่ 4.6 โดยค่านิจสปริงที่สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังกล่าว มีค่า 2.5587 นิวตันต่อเมตร คลาดเคลื่อนจากค่ามาตรฐานของสปริงที่ใช้ในการทดลอง 3.3578 เพอร์เซ็นต์

4.1.1.7 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชัน ครั้งที่ 7

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองครั้งที่ 7

มวลที่ใส่ในจาน (กิโลกรัม)	แรงกระทำต่อสปริง (นิวตัน)	ตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงไปของจุดอ้างอิง (พิกเซล)	ขนาดที่เปลี่ยนแปลงไปของจุดอ้างอิง (พิกเซล)	การยืดตัวของสปริง (พิกเซล)	การยืดตัวของสปริง (เมตร)
0	0	0	0	0	0
0.0100	0.0983	418	68	486	0.0378
0.0200	0.1967	882	110	992	0.0771
0.0300	0.2950	1359	136	1495	0.1162
0.0400	0.3934	1790	194	1984	0.1543
0.0500	0.4917	2208	236	2444	0.1900

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก

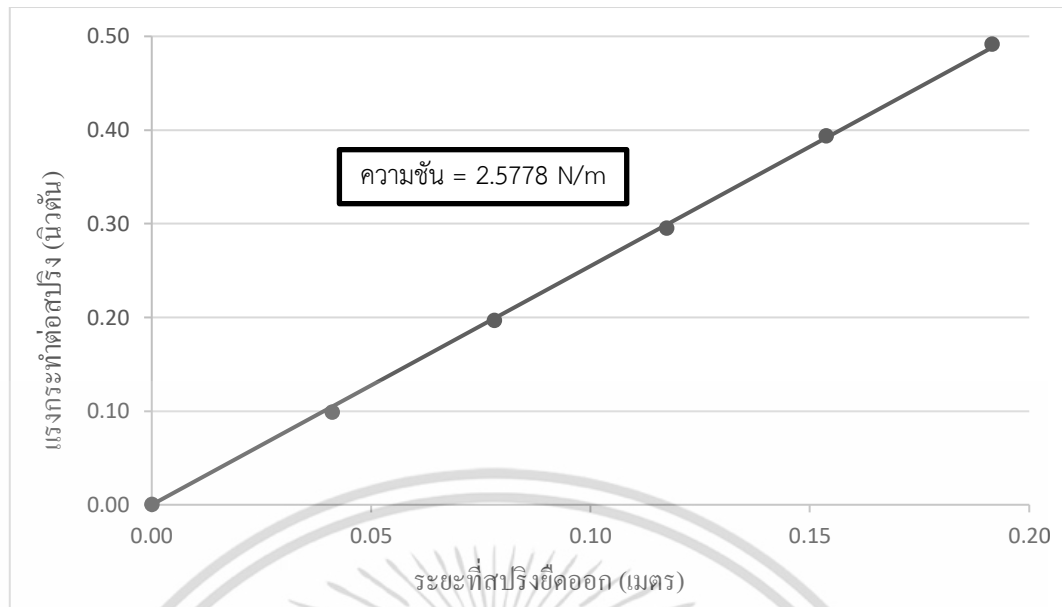
จากตารางที่ 4.7 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงในหน่วยนิวตันและระยะทางที่สปริงยืดออกในหน่วยเมตรได้ดังรูปที่ 4.7 โดยค่านิจสปริงที่สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังกล่าว มีค่า 2.5708 นิวตันต่อเมตร คลาดเคลื่อนจากค่ามาตรฐานของสปริงที่ใช้ในการทดลอง 2.9007 เพอร์เซ็นต์

4.1.1.8 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชัน ครั้งที่ 8

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองครั้งที่ 8

มวลที่ใส่ในจาน (กิโลกรัม)	แรงกระทำต่อสปริง (นิวตัน)	ตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงไปของจุดอ้างอิง (พิกเซล)	ขนาดที่เปลี่ยนแปลงไปของจุดอ้างอิง (พิกเซล)	การยืดตัวของสปริง (พิกเซล)	การยืดตัวของสปริง (เมตร)
0	0	0	0	0	0
0.0100	0.0983	455	74	529	0.0411
0.0200	0.1967	907	98	1005	0.0781
0.0300	0.2950	1385	125	1510	0.1174
0.0400	0.3934	1828	149	1977	0.1537
0.0500	0.4917	2289	175	2464	0.1916

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก

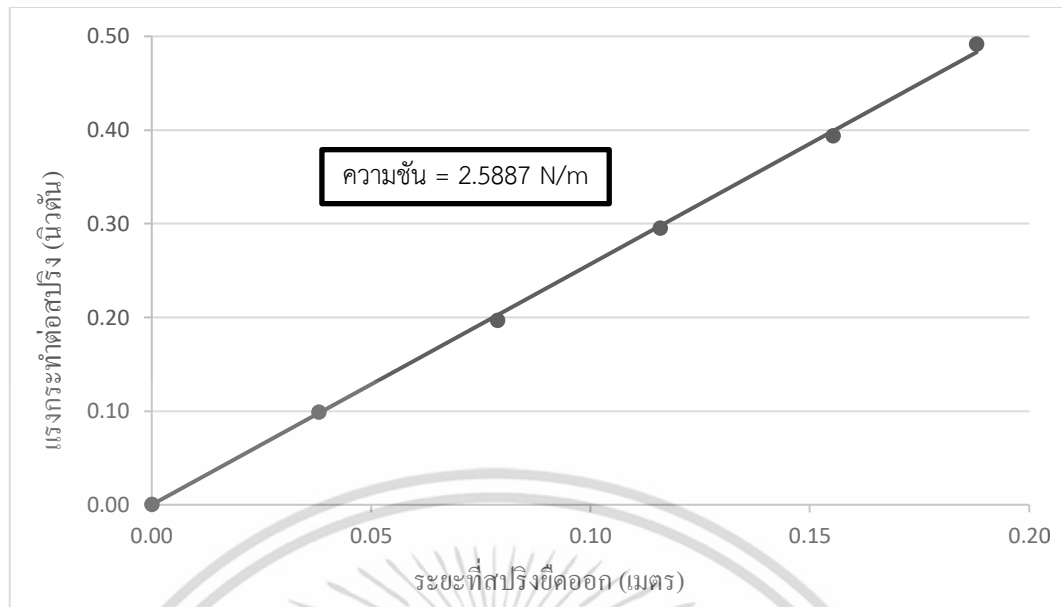
จากตารางที่ 4.8 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงในหน่วยนิวตันและระยะทางที่สปริงยืดออกในหน่วยเมตรได้ดังรูปที่ 4.8 โดยค่านิจสปริงที่สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังกล่าว มีค่า 2.5778 นิวตันต่อเมตร คลาดเคลื่อนจากค่ามาตรฐานของสปริงที่ใช้ในการทดลอง 2.6363 เพอร์เซ็นต์

4.1.1.9 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์ริเลชัน ครั้งที่ 9

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองครั้งที่ 9

มวลที่ใส่ในจาน (กิโลกรัม)	แรงกระทำต่อสปริง (นิวตัน)	ตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงไปของจุดอ้างอิง (พิกเซล)	ขนาดที่เปลี่ยนแปลงไปของจุดอ้างอิง (พิกเซล)	การยืดตัวของสปริง (พิกเซล)	การยืดตัวของสปริง (เมตร)
0	0	0	0	0	0
0.0100	0.0983	447	43	490	0.0381
0.0200	0.1967	931	83	1014	0.0788
0.0300	0.2950	1383	108	1491	0.1159
0.0400	0.3934	1865	132	1997	0.1553
0.0500	0.4917	2273	145	2418	0.1880

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก

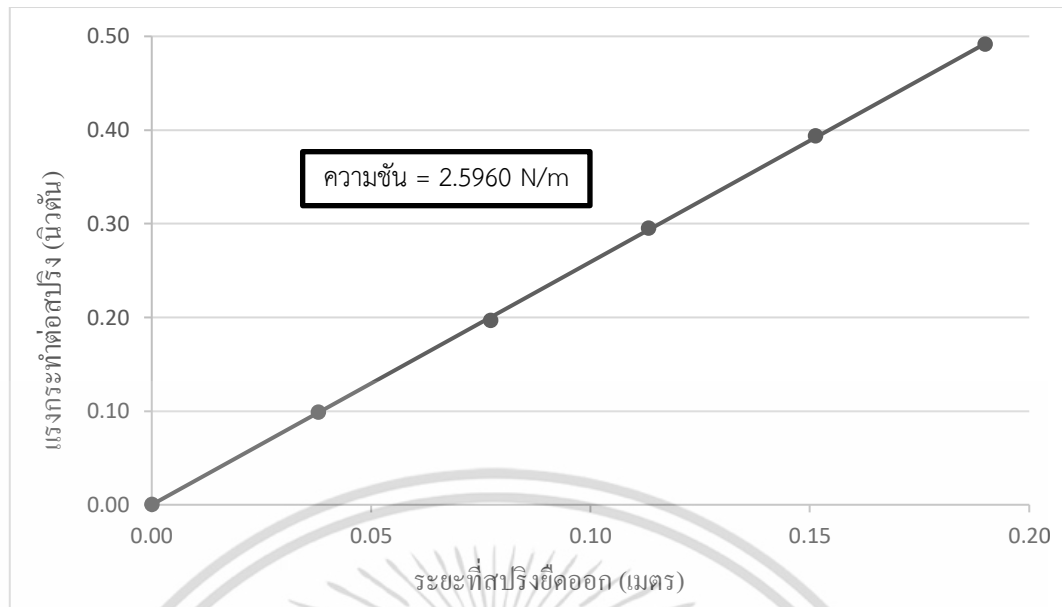
จากตารางที่ 4.9 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงในหน่วยนิวตันและระยะทางที่สปริงยืดออกในหน่วยเมตรได้ดังรูปที่ 4.9 โดยค่านิจสปริงที่สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังกล่าว มีค่า 2.5887 นิวตันต่อเมตร คลาดเคลื่อนจากค่ามาตรฐานของสปริงที่ใช้ในการทดลอง 2.2247 เพอร์เซ็นต์

4.1.1.10 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลนซ์ ครั้งที่ 10

ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองครั้งที่ 10

มวลที่ใส่ในจาน (กิโลกรัม)	แรงกระทำต่อสปริง (นิวตัน)	ตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงไปของจุดอ้างอิง (พิกเซล)	ขนาดที่เปลี่ยนแปลงไปของจุดอ้างอิง (พิกเซล)	การยืดตัวของสปริง (พิกเซล)	การยืดตัวของสปริง (เมตร)
0	0	0	0	0	0
0.0100	0.0983	434	54	488	0.0379
0.0200	0.1967	888	106	994	0.0773
0.0300	0.2950	1332	125	1457	0.1133
0.0400	0.3934	1798	148	1946	0.1513
0.0500	0.4917	2272	171	2443	0.1899

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก

จากตารางที่ 4.10 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงในหน่วยนิวตัน และระยะทางที่สปริงยืดออกในหน่วยเมตรได้ดังรูปที่ 4.10 โดยค่านิจสปริงที่สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังกล่าว มีค่า 2.5960 นิวตันต่อเมตร คลาดเคลื่อนจากค่ามาตรฐานของสปริงที่ใช้ในการทดลอง 1.9489 เปอร์เซ็นต์

4.1.1.11 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.11 การวิเคราะห์ผลการทดลองทั้ง 10 ครั้ง

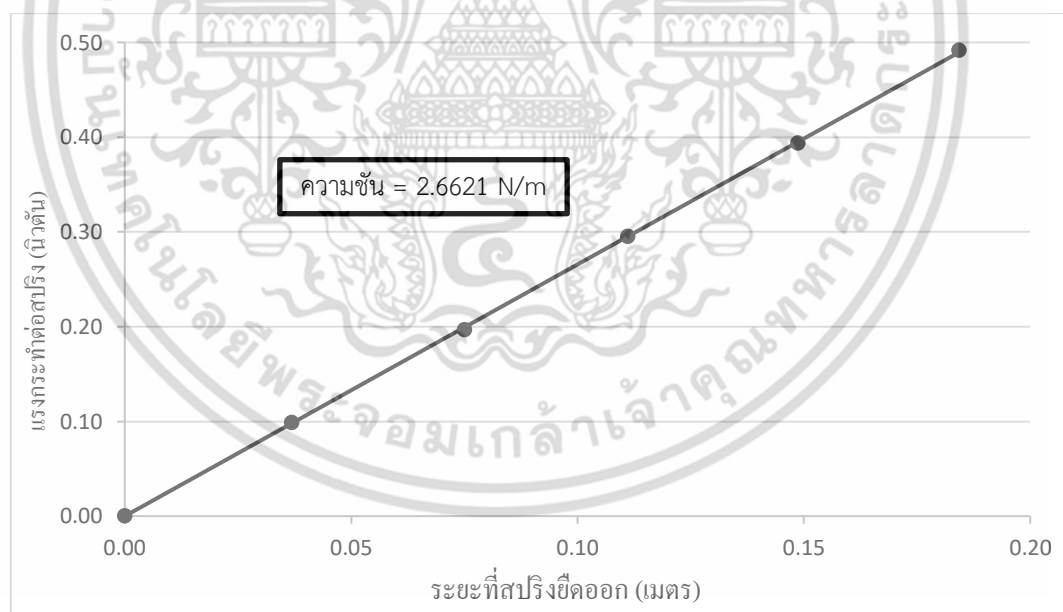
มวลที่ใส่ในงาน (กิโลกรัม)	แรงกระทำต่อสปริง (นิวตัน)	ผลการทดลอง(เมตร)						
		1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.0100	0.0983	0.0302	0.0339	0.0352	0.0367	0.0388	0.0387	0.0378
0.0200	0.1967	0.0734	0.0668	0.0687	0.0724	0.0804	0.0767	0.0771
0.0300	0.2950	0.1109	0.1002	0.1034	0.1038	0.1142	0.1155	0.1162
0.0400	0.3934	0.1499	0.1333	0.138	0.1422	0.1549	0.1539	0.1543
0.0500	0.4917	0.1857	0.1667	0.1723	0.1735	0.1927	0.1922	0.1900

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11(ต่อ) การวิเคราะห์ผลการทดลองทั้ง 10 ครั้ง

มวลที่ใส่ในจาน (กิโลกรัม)	แรงกระทำต่อสปริง (นิวตัน)	ผลการทดลอง(เมตร)				Standard deviation	Uncertainty
		8	9	10	เฉลี่ย		
0	0	0	0	0	0	0	0
0.0100	0.0983	0.0411	0.0381	0.0379	0.0368	0.0029	0.0009
0.0200	0.1967	0.0781	0.0788	0.0773	0.0750	0.0043	0.0014
0.0300	0.2950	0.1174	0.1159	0.1133	0.1111	0.0060	0.0019
0.0400	0.3934	0.1537	0.1553	0.1513	0.1487	0.0075	0.0024
0.0500	0.4917	0.1916	0.1880	0.1899	0.1843	0.0092	0.0029

จากตารางที่ 4.11 สามารถสังเกตได้ว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความไม่แน่นอนในการวัดของผลการทดลองในแต่ละครั้งมีค่าน้อยมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลการทดลองแต่ละครั้งมีความใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยมาก กล่าวคือการวัดการยืดตัวในแต่ละครั้งสามารถทำได้ใกล้เคียงค่าที่วัดได้ในครั้งก่อน



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออกโดยวิเคราะห์จากผลการทดลองที่ 10 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.11 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงในหน่วยนิวตัน และระยะทางที่สปริงยืดออกในหน่วยเมตรได้ดังรูปที่ 4.11 โดยค่านิจสปริงที่สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังกล่าว มีค่า 2.6621 นิวตันต่อเมตร คลาดเคลื่อนจากค่ามาตรฐานของสปริงที่ใช้ในการทดลอง 0.5478 เปอร์เซ็นต์

4.1.2 ผลการสอบเทียบวิธีการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชันโดยใช้สปริงที่ทราบค่านิจสปริงด้วยกล้องถ่ายภาพยี่ห้อ Nikon รุ่น D7100 และ เลนส์มาโคร ยี่ห้อ Tamron รุ่น 90mm f2.8 Macro

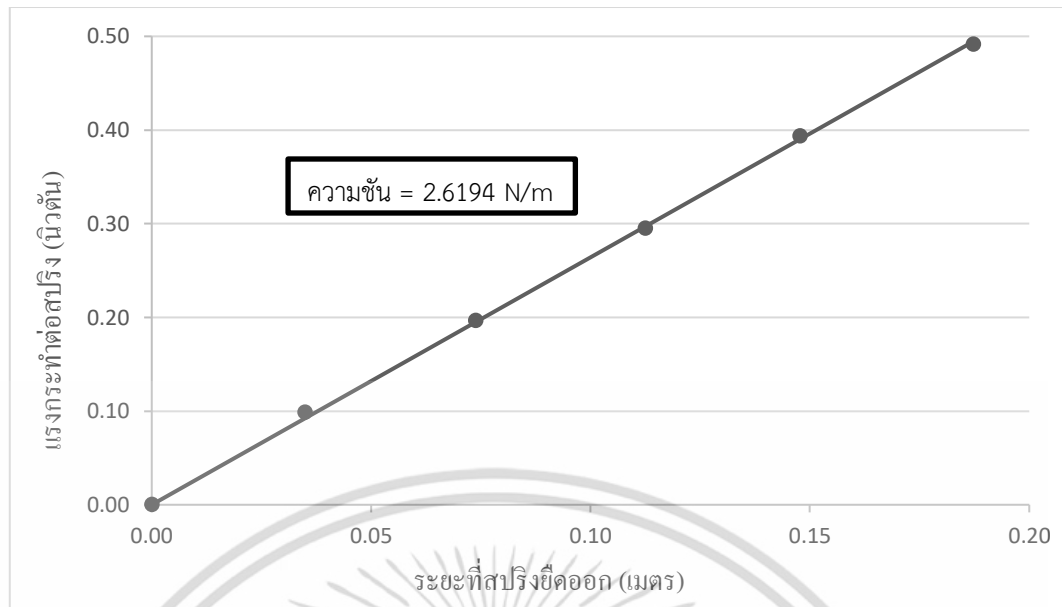
ในการวิจัยนี้ได้ใช้สปริงซึ่งมีค่านิจสปริง 2.6476 นิวตันต่อเมตร เป็นตัวอย่างในการสอบเทียบวิธีการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชัน โดยการจัดการทดลองดังที่แสดงรายละเอียดไว้ในขั้นตอนที่ 3.1 โดยผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

4.1.2.1 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชัน ครั้งที่ 1

ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองครั้งที่ 1

มวลที่ใส่ในงาน (กิโลกรัม)	แรงกระทำต่อ สปริง (นิวตัน)	ตำแหน่งที่ เปลี่ยนแปลงไป ของจุดอ้างอิง (พิกเซล)	ขนาดที่ เปลี่ยนแปลงไป ของจุดอ้างอิง (พิกเซล)	การยืดตัวของสปริง (พิกเซล)	การยืดตัวของสปริง (เมตร)
0	0	0	0	0	0
0.0100	0.0983	535	59	594	0.0350
0.0200	0.1967	1127	127	1254	0.0738
0.0300	0.2950	1724	186	1910	0.1125
0.0400	0.3934	2271	239	2510	0.1478
0.0500	0.4917	2873	308	3181	0.1873

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก

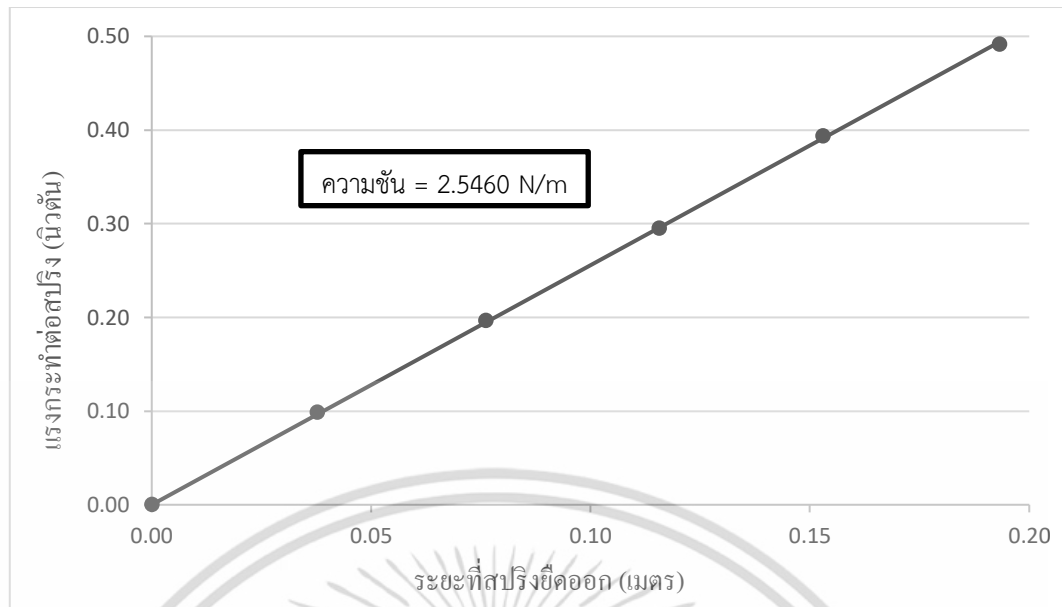
จากตารางที่ 4.12 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงในหน่วยนิวตัน และระยะทางที่สปริงยืดออกในหน่วยเมตรได้ดังรูปที่ 4.12 โดยค่านิจสปริงที่สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังกล่าว มีค่า 2.6194 นิวตันต่อเมตร คลาดเคลื่อนจากค่ามาตรฐานของสปริงที่ใช้ในการทดลอง 1.0651 เปอร์เซ็นต์

4.1.2.2 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชัน ครั้งที่ 2

ตารางที่ 4.13 ผลการทดลองครั้งที่ 2

มวลที่ใส่ในจาน (กิโลกรัม)	แรงกระทำต่อสปริง (นิวตัน)	ตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงไปของจุดอ้างอิง (พิกเซล)	ขนาดที่เปลี่ยนแปลงไปของจุดอ้างอิง (พิกเซล)	การยืดตัวของสปริง (พิกเซล)	การยืดตัวของสปริง (เมตร)
0	0	0	0	0	0
0.0100	0.0983	575	65	640	0.0377
0.0200	0.1967	1176	117	1293	0.0761
0.0300	0.2950	1782	183	1965	0.1157
0.0400	0.3934	2380	218	2598	0.1530
0.0500	0.4917	2987	295	3282	0.1933

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก

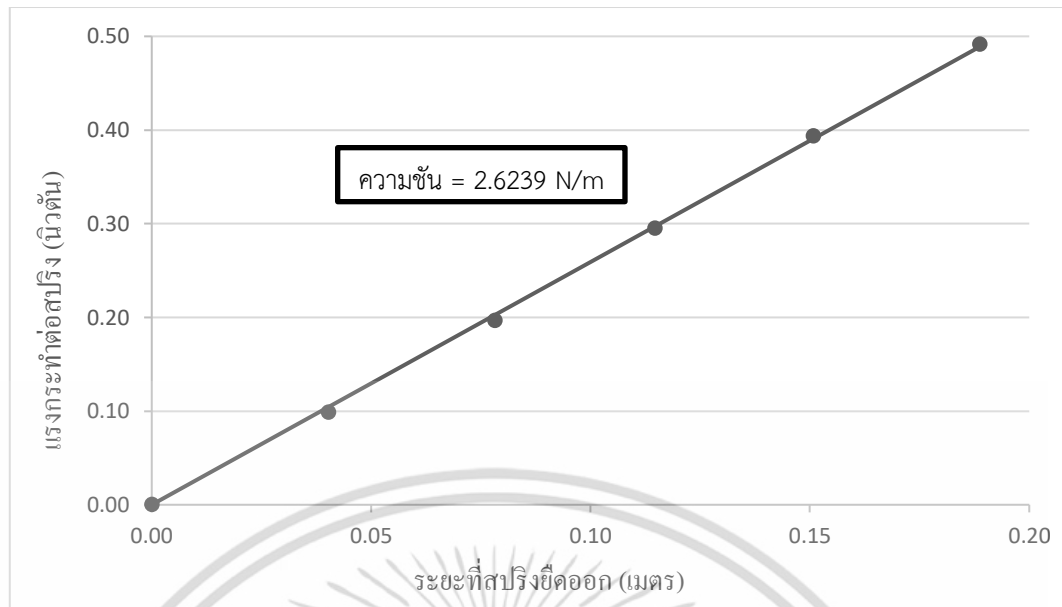
จากตารางที่ 4.13 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงในหน่วยนิวตัน และระยะทางที่สปริงยืดออกในหน่วยเมตรได้ดังรูปที่ 4.13 โดยค่านิจสปริงที่สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังกล่าว มีค่า 2.5460 นิวตันต่อเมตร คลาดเคลื่อนจากค่ามาตรฐานของสปริงที่ใช้ในการทดลอง 3.8374 เปอร์เซ็นต์

4.1.2.3 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชัน ครั้งที่ 3

ตารางที่ 4.14 ผลการทดลองครั้งที่ 3

มวลที่ใส่ในจาน (กิโลกรัม)	แรงกระทำต่อสปริง (นิวตัน)	ตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงไปของจุดอ้างอิง (พิกเซล)	ขนาดที่เปลี่ยนแปลงไปของจุดอ้างอิง (พิกเซล)	การยืดตัวของสปริง (พิกเซล)	การยืดตัวของสปริง (เมตร)
0	0	0	0	0	0
0.0100	0.0983	665	58	723	0.0403
0.0200	0.1967	1283	118	1401	0.0782
0.0300	0.2950	1877	178	2055	0.1146
0.0400	0.3934	2482	222	2704	0.1509
0.0500	0.4917	3079	303	3382	0.1887

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก

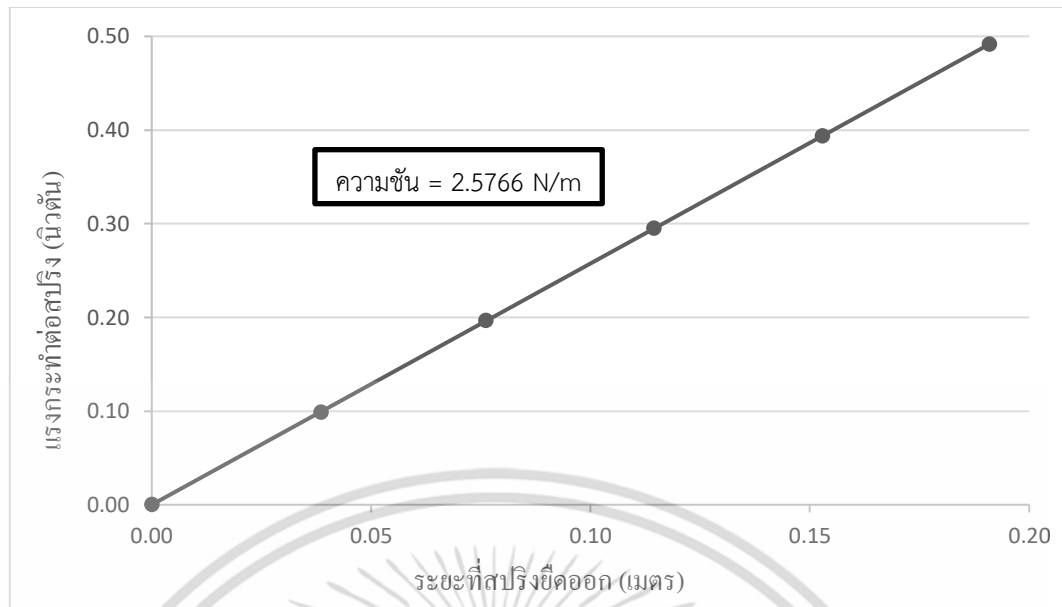
จากตารางที่ 4.14 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงในหน่วยนิวตัน และระยะทางที่สปริงยืดออกในหน่วยเมตรได้ดังรูปที่ 4.14 โดยค่านิจสปริงที่สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังกล่าว มีค่า 2.6239 นิวตันต่อเมตร คลาดเคลื่อนจากค่ามาตรฐานของสปริงที่ใช้ในการทดลอง 0.8952 เปอร์เซ็นต์

4.1.2.4 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชัน ครั้งที่ 4

ตารางที่ 4.15 ผลการทดลองครั้งที่ 4

มวลที่ใส่ในจาน (กิโลกรัม)	แรงกระทำต่อสปริง (นิวตัน)	ตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงไปของจุดอ้างอิง (พิกเซล)	ขนาดที่เปลี่ยนแปลงไปของจุดอ้างอิง (พิกเซล)	การยืดตัวของสปริง (พิกเซล)	การยืดตัวของสปริง (เมตร)
0	0	0	0	0	0
0.0100	0.0983	827	93	920	0.0385
0.0200	0.1967	1650	167	1817	0.0761
0.0300	0.2950	2476	256	2732	0.1145
0.0400	0.3934	3304	346	3650	0.1529
0.0500	0.4917	4137	419	4556	0.1909

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก

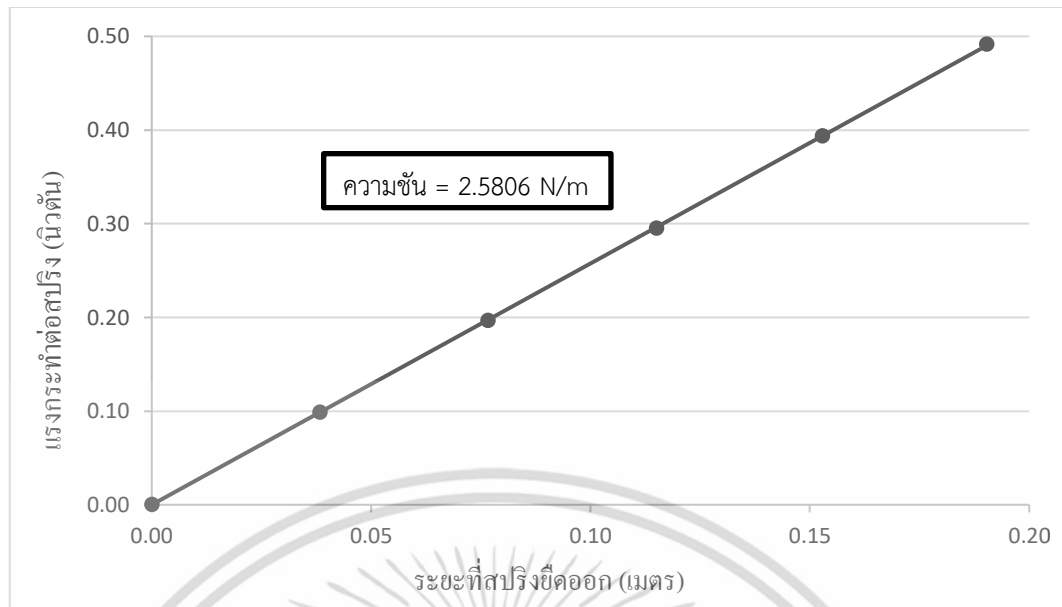
จากตารางที่ 4.15 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงในหน่วยนิวตัน และระยะทางที่สปริงยืดออกในหน่วยเมตรได้ดังรูปที่ 4.15 โดยค่านิจสปริงที่สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังกล่าว มีค่า 2.5766 นิวตันต่อเมตร คลาดเคลื่อนจากค่ามาตรฐานของสปริงที่ใช้ในการทดลอง 2.6817 เปอร์เซ็นต์

4.1.2.5 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชัน ครั้งที่ 5

ตารางที่ 4.16 ผลการทดลองครั้งที่ 5

มวลที่ใส่ในจาน (กิโลกรัม)	แรงกระทำต่อสปริง (นิวตัน)	ตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงไปของจุดอ้างอิง (พิกเซล)	ขนาดที่เปลี่ยนแปลงไปของจุดอ้างอิง (พิกเซล)	การยืดตัวของสปริง (พิกเซล)	การยืดตัวของสปริง (เมตร)
0	0	0	0	0	0.0000
0.0100	0.0983	829	87	916	0.0384
0.0200	0.1967	1650	178	1828	0.0766
0.0300	0.2950	2481	265	2746	0.1150
0.0400	0.3934	3295	355	3650	0.1529
0.0500	0.4917	4112	431	4543	0.1903

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก

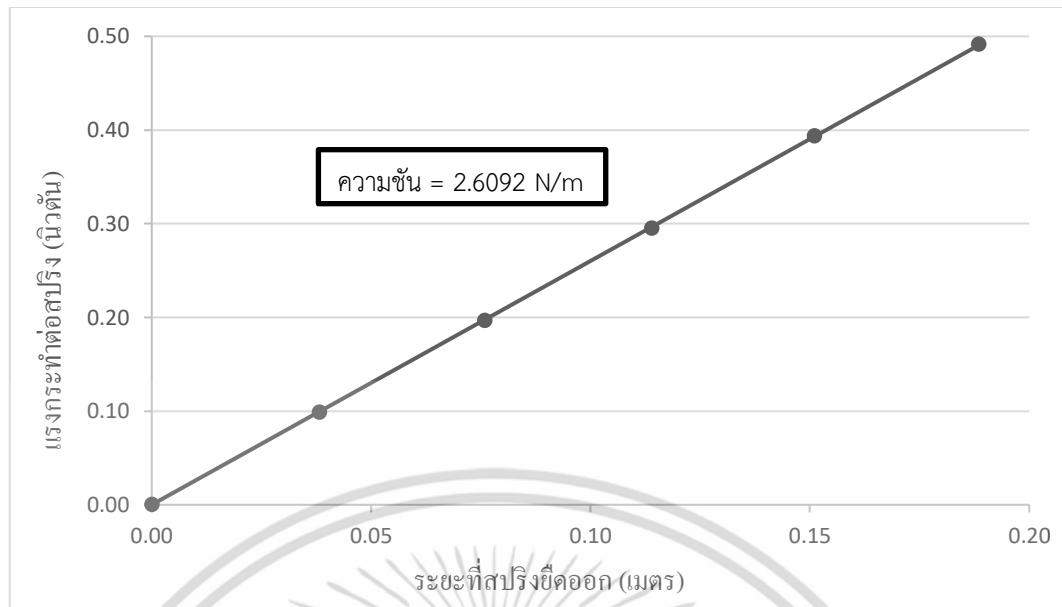
จากตารางที่ 4.16 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงในหน่วยนิวตัน และระยะทางที่สปริงยืดออกในหน่วยเมตรได้ดังรูปที่ 4.16 โดยค่านิจสปริงที่สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังกล่าว มีค่า 2.5806 นิวตันต่อเมตร คลาดเคลื่อนจากค่ามาตรฐานของสปริงที่ใช้ในการทดลอง 2.5306 เปอร์เซ็นต์

4.1.2.6 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชัน ครั้งที่ 6

ตารางที่ 4.17 ผลการทดลองครั้งที่ 6

มวลที่ใส่ในจาน (กิโลกรัม)	แรงกระทำต่อสปริง (นิวตัน)	ตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงไปของจุดอ้างอิง (พิกเซล)	ขนาดที่เปลี่ยนแปลงไปของจุดอ้างอิง (พิกเซล)	การยืดตัวของสปริง (พิกเซล)	การยืดตัวของสปริง (เมตร)
0	0	0	0	0	0
0.0100	0.0983	830	81	911	0.0382
0.0200	0.1967	1654	158	1812	0.0759
0.0300	0.2950	2484	236	2720	0.1140
0.0400	0.3934	3295	309	3604	0.1510
0.0500	0.4917	4101	399	4500	0.1885

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก

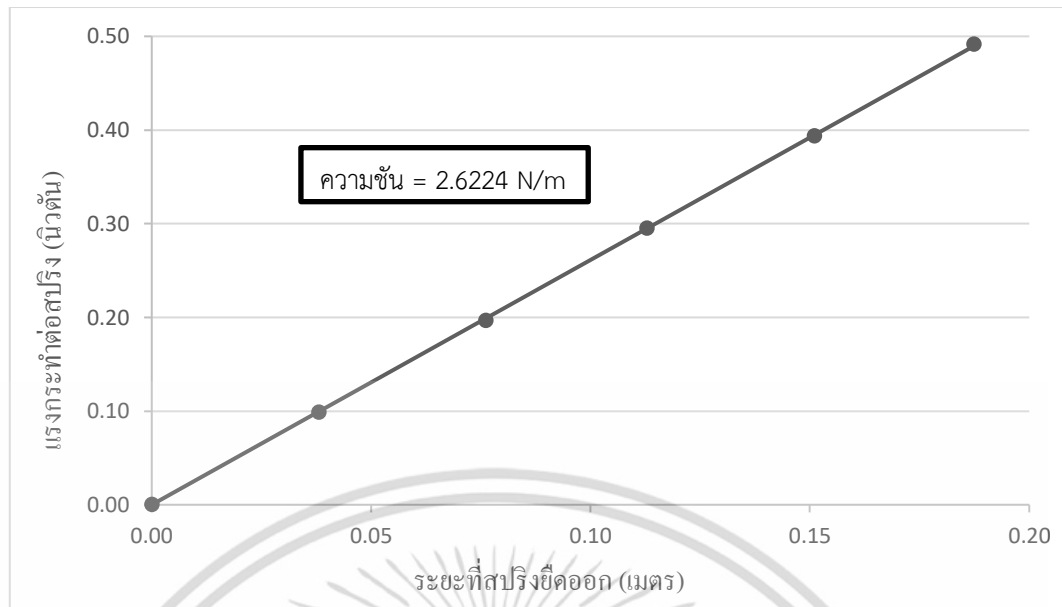
จากตารางที่ 4.17 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงในหน่วยนิวตัน และระยะทางที่สปริงยืดออกในหน่วยเมตรได้ดังรูปที่ 4.17 โดยค่านิจสปริงที่สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังกล่าว มีค่า 2.6092 นิวตันต่อเมตร คลาดเคลื่อนจากค่ามาตรฐานของสปริงที่ใช้ในการทดลอง 1.4504 เปอร์เซ็นต์

4.1.2.7 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชัน ครั้งที่ 7

ตารางที่ 4.18 ผลการทดลองครั้งที่ 7

มวลที่ใส่ในจาน (กิโลกรัม)	แรงกระทำต่อสปริง (นิวตัน)	ตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงไปของจุดอ้างอิง (พิกเซล)	ขนาดที่เปลี่ยนแปลงไปของจุดอ้างอิง (พิกเซล)	การยืดตัวของสปริง (พิกเซล)	การยืดตัวของสปริง (เมตร)
0	0	0	0	0	0
0.0100	0.0983	821	88	909	0.0381
0.0200	0.1967	1638	179	1817	0.0761
0.0300	0.2950	2448	246	2694	0.1129
0.0400	0.3934	3272	332	3604	0.1510
0.0500	0.4917	4089	384	4473	0.1874

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก

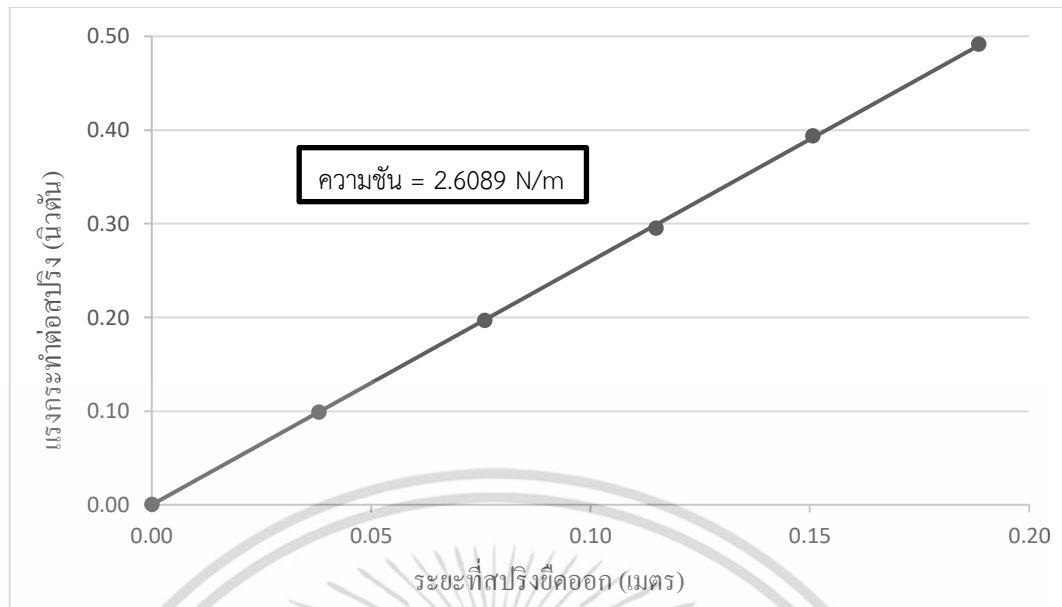
จากตารางที่ 4.18 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงในหน่วยนิวตัน และระยะทางที่สปริงยืดออกในหน่วยเมตรได้ดังรูปที่ 4.18 โดยค่านิจสปริงที่สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังกล่าว มีค่า 2.6224 นิวตันต่อเมตร คลาดเคลื่อนจากค่ามาตรฐานของสปริงที่ใช้ในการทดลอง 0.9518 เปอร์เซ็นต์

4.1.2.8 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิทัลอิมเมจจอร์ริเลชัน ครั้งที่ 8

ตารางที่ 4.19 ผลการทดลองครั้งที่ 8

มวลที่ใส่ในจาน (กิโลกรัม)	แรงกระทำต่อสปริง (นิวตัน)	ตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงไปของจุดอ้างอิง (พิกเซล)	ขนาดที่เปลี่ยนแปลงไปของจุดอ้างอิง (พิกเซล)	การยืดตัวของสปริง (พิกเซล)	การยืดตัวของสปริง (เมตร)
0	0	0	0	0	0
0.0100	0.0983	819	89	908	0.0380
0.0200	0.1967	1636	177	1813	0.0760
0.0300	0.2950	2483	260	2743	0.1149
0.0400	0.3934	3272	325	3597	0.1507
0.0500	0.4917	4087	411	4498	0.1885

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก

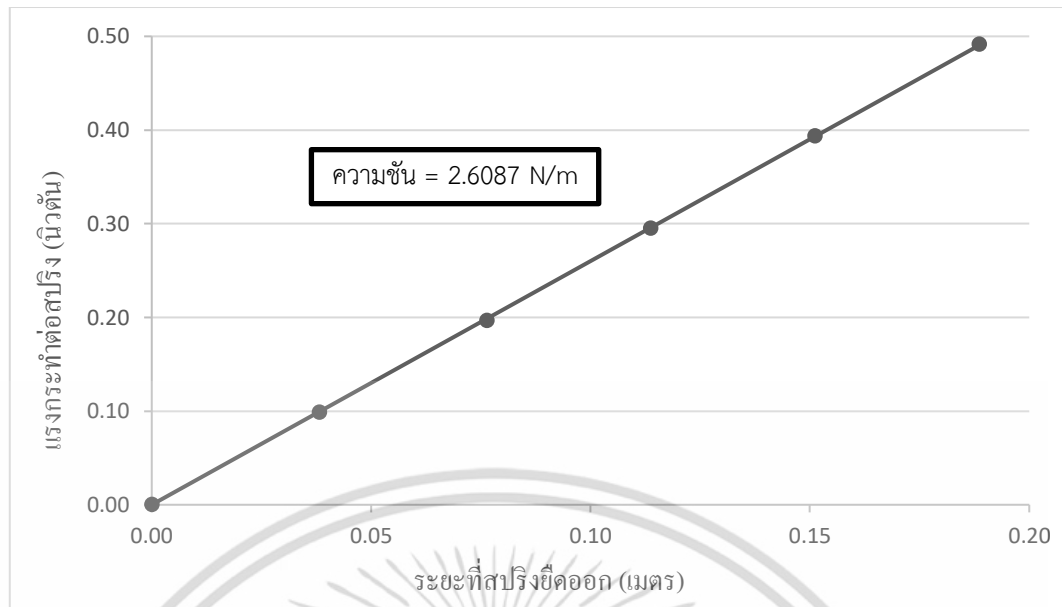
จากตารางที่ 4.19 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงในหน่วยนิวตัน และระยะทางที่สปริงยืดออกในหน่วยเมตรได้ดังรูปที่ 4.19 โดยค่านิจสปริงที่สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังกล่าว มีค่า 2.6089 นิวตันต่อเมตร คลาดเคลื่อนจากค่ามาตรฐานของสปริงที่ใช้ในการทดลอง 1.4617 เปอร์เซ็นต์

4.1.2.9 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิทัลอิมเมจจอร์ริเลชัน ครั้งที่ 9

ตารางที่ 4.20 ผลการทดลองครั้งที่ 9

มวลที่ใส่ในจาน (กิโลกรัม)	แรงกระทำต่อสปริง (นิวตัน)	ตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงไปของจุดอ้างอิง (พิกเซล)	ขนาดที่เปลี่ยนแปลงไปของจุดอ้างอิง (พิกเซล)	การยืดตัวของสปริง (พิกเซล)	การยืดตัวของสปริง (เมตร)
0	0	0	0	0	0
0.0100	0.0983	819	93	912	0.0382
0.0200	0.1967	1599	223	1822	0.0763
0.0300	0.2950	2457	257	2714	0.1137
0.0400	0.3934	3265	342	3607	0.1511
0.0500	0.4917	4077	426	4503	0.1887

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก

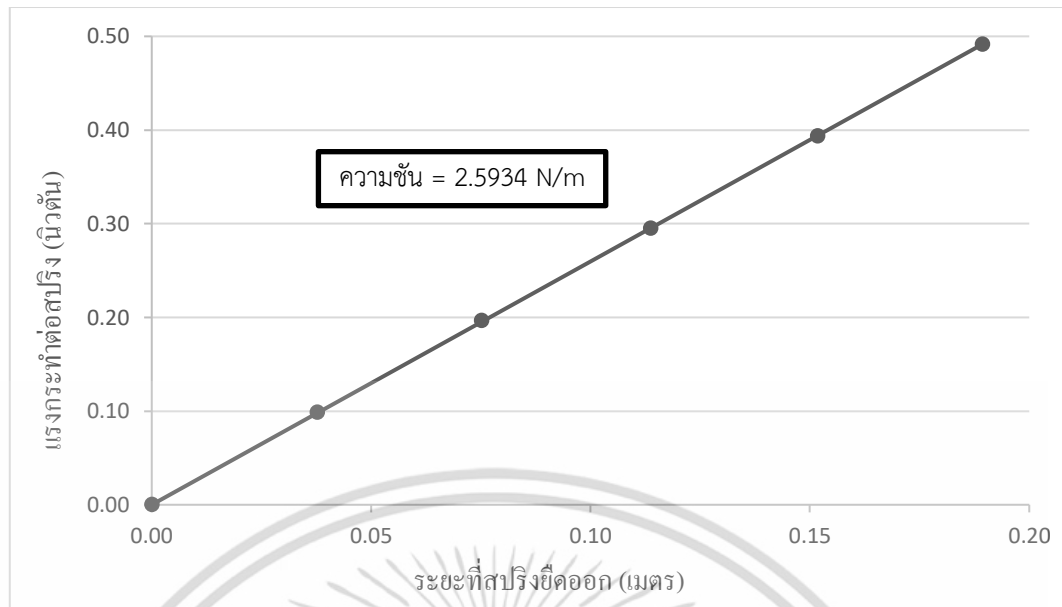
จากตารางที่ 4.20 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงในหน่วยนิวตัน และระยะทางที่สปริงยืดออกในหน่วยเมตรได้ดังรูปที่ 4.20 โดยค่านิจสปริงที่สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังกล่าว มีค่า 2.6087 นิวตันต่อเมตร คลาดเคลื่อนจากค่ามาตรฐานของสปริงที่ใช้ในการทดลอง 1.4693 เปอร์เซ็นต์

4.1.2.10 ผลการทดลองการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลนซ์ ครั้งที่ 10

ตารางที่ 4.21 ผลการทดลองครั้งที่ 10

มวลที่ใส่ในจาน (กิโลกรัม)	แรงกระทำต่อสปริง (นิวตัน)	ตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงไปของจุดอ้างอิง (พิกเซล)	ขนาดที่เปลี่ยนแปลงไปของจุดอ้างอิง (พิกเซล)	การยืดตัวของสปริง (พิกเซล)	การยืดตัวของสปริง (เมตร)
0	0	0	0	0	0
0.0100	0.0983	812	90	902	0.0378
0.0200	0.1967	1624	171	1795	0.0752
0.0300	0.2950	2451	263	2714	0.1137
0.0400	0.3934	3279	343	3622	0.1518
0.0500	0.4917	4096	424	4520	0.1894

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออก

จากตารางที่ 4.21 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงในหน่วยนิวตัน และระยะทางที่สปริงยืดออกในหน่วยเมตรได้ดังรูปที่ 4.21 โดยค่านิจสปริงที่สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังกล่าว มีค่า 2.5934 นิวตันต่อเมตร คลาดเคลื่อนจากค่ามาตรฐานของสปริงที่ใช้ในการทดลอง 2.0471 เปอร์เซ็นต์

4.1.2.11 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.22 การวิเคราะห์ผลการทดลองทั้ง 10 ครั้ง

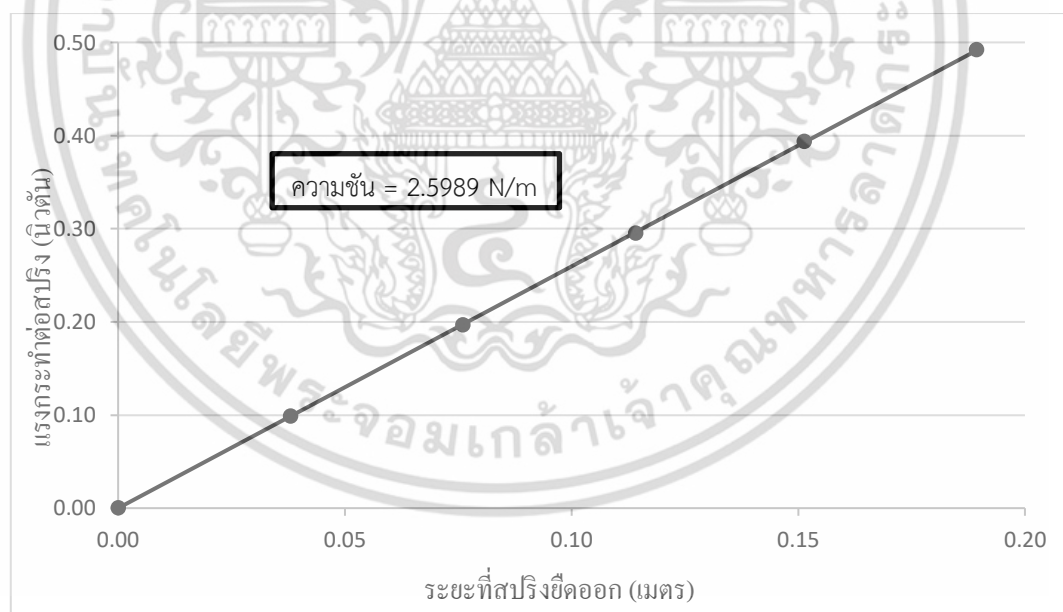
มวลที่ใส่ในงาน (กิโลกรัม)	แรงกระทำต่อสปริง (นิวตัน)	ผลการทดลอง(เมตร)						
		1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.0100	0.0983	0.0350	0.0377	0.0403	0.0385	0.0384	0.0382	0.0381
0.0200	0.1967	0.0738	0.0761	0.0782	0.0761	0.0766	0.0759	0.0761
0.0300	0.2950	0.1125	0.1157	0.1146	0.1145	0.1150	0.1140	0.1129
0.0400	0.3934	0.1478	0.1530	0.1509	0.1529	0.1529	0.1510	0.1510
0.0500	0.4917	0.1873	0.1933	0.1887	0.1909	0.1903	0.1885	0.1874

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.22(ต่อ) การวิเคราะห์ผลการทดลองทั้ง 10 ครั้ง

มวลที่ใส่ในงาน (กิโลกรัม)	แรงกระทำต่อสปริง (นิวตัน)	ผลการทดลอง(เมตร)				Standard deviation	Uncertainty
		8	9	10	เฉลี่ย		
0.0000	0	0	0	0	0	0	0
0.0100	0.0983	0.0380	0.0382	0.0378	0.0380	0.0012	0.0004
0.0200	0.1967	0.0760	0.0763	0.0752	0.0760	0.0010	0.0003
0.0300	0.2950	0.1149	0.1137	0.1137	0.1142	0.0010	0.0003
0.0400	0.3934	0.1507	0.1511	0.1518	0.1513	0.0015	0.0005
0.0500	0.4917	0.1885	0.1887	0.1894	0.1893	0.0017	0.0005

จากตารางที่ 4.22 สามารถสังเกตได้ว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความไม่แน่นอนในการวัดของผลการทดลองในแต่ละครั้งมีค่าน้อยมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลการทดลองแต่ละครั้งมีความใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยมาก กล่าวคือการวัดการยืดตัวในแต่ละครั้งสามารถทำได้ใกล้เคียงค่าที่วัดได้ในครั้งก่อน



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงและระยะทางที่สปริงยืดออกโดยวิเคราะห์จากผลการทดลองที่ 10 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.22 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อสปริงในหน่วยนิวตัน และระยะทางที่สปริงยืดออกในหน่วยเมตรได้ดังรูปที่ 4.22 โดยค่านิจสปริงที่สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังกล่าว มีค่า 2.5989 นิวตันต่อเมตร คลาดเคลื่อนจากค่ามาตรฐานของสปริงที่ใช้ในการทดลอง 1.8394 เปอร์เซ็นต์

4.1.3 การวิเคราะห์ผลการสอบเทียบวิธีการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชันโดยใช้สปริงที่ทราบค่านิจสปริงด้วยกล้องถ่ายภาพยี่ห้อ Canon รุ่น 60D และ เลนส์มาโครยี่ห้อ Canon รุ่น EF 100mm f2.8L Macro IS USM และ กล้องถ่ายภาพยี่ห้อ Nikon รุ่น D7100 และ เลนส์มาโคร ยี่ห้อ Tamron รุ่น 90mm f2.8 Macro

ในการวิจัยนี้ได้ใช้สปริงซึ่งมีค่านิจสปริง 2.6476 นิวตันต่อเมตร เป็นตัวอย่างในการสอบเทียบวิธีการวัดการยืดตัวด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชัน โดยการจัดการทดลองดังที่แสดงรายละเอียดไว้ในขั้นตอนที่ 3.1 โดยผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 4.23 ผลการเปรียบเทียบค่านิจสปริงและความคลาดเคลื่อนระหว่างกล้องทั้งสองยี่ห้อ

		ผลการทดลอง (ครั้งที่)										เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Canon	ค่านิจสปริง (N/m)	2.5941	2.9548	2.8574	2.8307	2.5565	2.5587	2.5708	2.5778	2.5887	2.5960	2.6621
	ความคลาดเคลื่อน (%)	2.0207	11.6030	7.9241	6.9157	3.4409	3.3578	2.9007	2.6363	2.2247	1.9489	0.5478
Nikon	ค่านิจสปริง (N/m)	2.6194	2.5460	2.6239	2.5766	2.5806	2.6092	2.6224	2.6089	2.6087	2.5934	2.5989
	ความคลาดเคลื่อน (%)	1.0651	3.8374	0.8952	2.6817	2.5306	1.4504	0.9518	1.4617	1.4693	2.0471	1.8394

จากตารางที่ 4.23 พบว่าค่านิจสปริงที่สามารถวัดได้ด้วยกล้องทั้งสองชนิดมีความใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน คือ มีค่าความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.5478 เปอร์เซ็นต์ และ 1.8394 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จึงสามารถสรุปได้ว่ากล้องทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพในการวัดการยืดตัวของตัวอย่างได้ไม่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.24 ผลการเปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและความไม่แน่นอนในการวัดระหว่างกล้อง
ทั้งสองยี่ห้อ

	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐานสูงสุด (m)	ความไม่แน่นอน ในการวัดสูงสุด (m)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐานต่ำสุด (m)	ความไม่แน่นอน ในการวัดต่ำสุด (m)	ค่านิจสปริง เฉลี่ย (N/m)	ความคลาดเคลื่อน เฉลี่ย (%)
Canon	0.0092	0.0029	0.0029	0.0009	2.6621	0.5478
Nikon	0.0017	0.0005	0.0010	0.0003	2.5989	1.8394

จากตารางที่ 4.24 พบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความไม่แน่นอนในการวัดของกล้อง
ยี่ห้อ Canon มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.0092 และ 0.0029 ตามลำดับ และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.0029 และ
0.0009 ตามลำดับ ในขณะที่กล้องยี่ห้อ Nikon มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความไม่แน่นอนใน
การวัดสูงสุดเท่ากับ 0.0017 และ 0.0005 ตามลำดับ และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.0010 และ 0.0003
ตามลำดับ จึงสามารถสรุปได้ว่าในแต่ละครั้งที่ทำการทดลอง กล้องยี่ห้อ Nikon สามารถวัดค่าได้
ใกล้เคียงกันมากกว่ากล้องยี่ห้อ Canon เนื่องจากกล้องยี่ห้อ Nikon มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและ
ความไม่แน่นอนในการวัดจากผลการทดลองในแต่ละครั้งน้อยกว่ากล้องยี่ห้อ Canon

4.2 ผลการศึกษาสมบัติการยืดตัวและความเครียดของเส้นไหมไทยโดยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชัน

การศึกษาสมบัติการยืดตัวและความเครียดของเส้นไหมไทยโดยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์รีเลชันในงานวิจัยชิ้นนี้ได้เลือกใช้เส้นไหมพันธุ์ไทยลูกผสมเหลืองไพโรจน์เป็นตัวอย่างในการศึกษา เนื่องจากไหมพันธุ์ดังกล่าวเป็นไหมที่ได้รับการส่งเสริมให้เกษตรกรเพาะเลี้ยงเนื่องจากสามารถผลิตเส้นไหมได้ในปริมาณมาก โดยผลการศึกษาที่มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.1 ผลการศึกษาสมบัติการยืดตัวและความเครียดของเส้นไหมไทยชนิดเส้นไหมหนึ่งหรือ ไหมน้อย

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เส้นไหมชนิดที่หนึ่งหรือเส้นไหมหนึ่งหรือเส้นไหมน้อย ที่ได้จากการสาวไหมจากบริเวณเปลือกรังไหมชั้นในจากไหมพันธุ์เหลืองไพโรจน์ โดยเส้นไหมที่ใช้ในงานวิจัยมีขนาด 166 ดีเนียร์ จัดอยู่ในเส้นไหมที่มีขนาดเป็นเส้นใยอยู่ในกลุ่มที่ 3

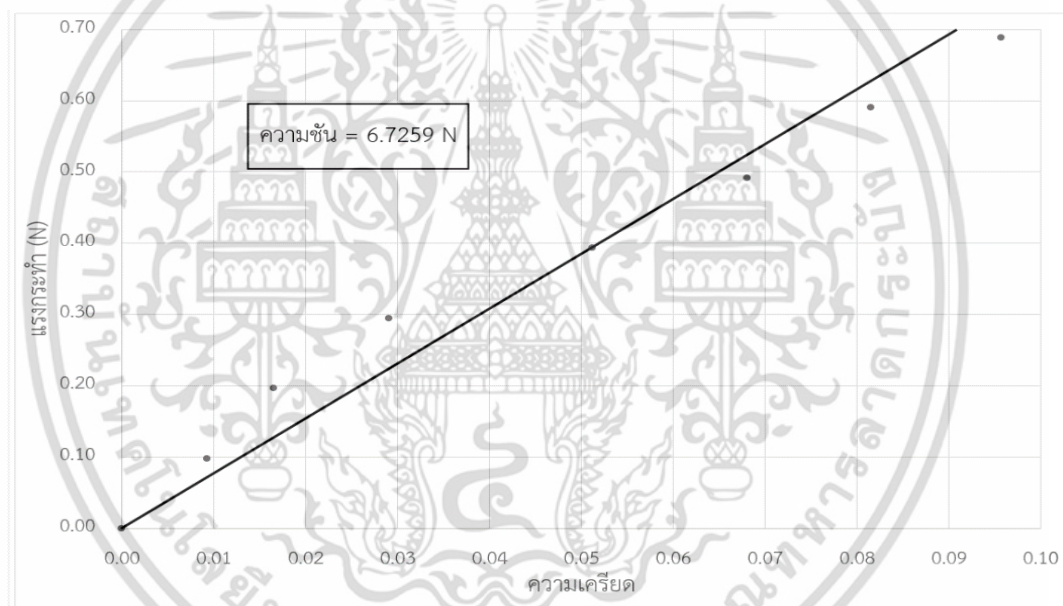
ตารางที่ 4.25 ผลการทดลองทั้ง 10 ครั้ง

แรงกระทำ (นิวตัน)	ความเครียดที่ได้จากการทดลอง						
	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	0	0	0
0.0983	0.0048	0.0093	0.0056	0.0150	0.0225	0.0106	0.0102
0.1967	0.0111	0.0151	0.0175	0.0180	0.0343	0.0137	0.0176
0.2950	0.0214	0.0541	0.0372	0.0225	0.0443	0.0262	0.0269
0.3934	0.1077	0.0687	0.0539	0.0716	0.0526	0.0353	0.0445
0.4917	0.1115	0.0948	0.0739	0.1001	0.0655	0.0531	0.0463
0.5901	0.1138	0.1121	0.1165	0.1198	0.0748	0.0607	0.0584
0.6884	0.1176	0.1225	0.1268	0.1258	0.0985	0.0694	0.0718

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.25(ต่อ) ผลการทดลองทั้ง 10 ครั้ง

แรงกระทำ (นิวตัน)	ความเครียดที่ได้จากการทดลอง				Standard deviation	Uncertainty
	8	9	10	เฉลี่ย		
0	0	0	0	0	0	0
0.0983	0.0072	0.0059	0.0010	0.0092	0.0057	0.0018
0.1967	0.0093	0.0113	0.0166	0.0164	0.0066	0.0021
0.2950	0.0127	0.0219	0.0231	0.0290	0.0118	0.0037
0.3934	0.0182	0.0283	0.0307	0.0512	0.0250	0.0079
0.4917	0.0272	0.0632	0.0442	0.0680	0.0257	0.0081
0.5901	0.0323	0.0721	0.0542	0.0815	0.0299	0.0095
0.6884	0.0839	0.0780	0.0625	0.0957	0.0243	0.0077



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและความเครียดของตัวอย่างจากค่าเฉลี่ยของการทดลองทั้ง 10 ครั้ง

จากตารางที่ 4.25 สามารถสังเกตได้ว่าค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความไม่แน่นอนในการวัดจากการทดลองทั้ง 10 ครั้ง มีค่าสูงสุดคือ 0.0299 และ 0.0095 ตามลำดับ และมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 0.0057 และ 0.0018 ตามลำดับ และจากรูปที่ 4.23 เมื่อนำค่าเฉลี่ยจากการทดลองทั้ง 10 ครั้ง มาสร้างเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและความเครียดของตัวอย่างจะพบว่ากราฟ

แสดงความสัมพันธ์ดังกล่าว มีความชันคือ 6.7259 นิวตัน
เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.26 ผลการทดลองทั้ง 10 ครั้ง

แรงกระทำ (นิวตัน)	ร้อยละของการยืดตัวที่ได้จากการทดลอง (%)						
	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	0	0	0
0.0983	0.4783	0.9340	0.5559	1.5004	2.2464	1.0624	1.0196
0.1967	1.1076	1.5109	1.7512	1.8005	3.4338	1.3659	1.7611
0.2950	2.1397	5.4116	3.7248	2.2506	4.4287	2.6180	2.6880
0.3934	10.7739	6.8676	5.3926	7.1590	5.2631	3.5286	4.4491
0.4917	11.1515	9.4772	7.3939	10.0098	6.5468	5.3119	4.6345
0.5901	11.3781	11.2079	11.6468	11.9817	7.4774	6.0708	5.8394
0.6884	11.7557	12.2517	12.6753	12.5819	9.8523	6.9435	7.1834

ตารางที่ 4.26(ต่อ) ผลการทดลองทั้ง 10 ครั้ง

แรงกระทำ (นิวตัน)	ร้อยละของการยืดตัวที่ได้จากการทดลอง (%)				Standard deviation	Uncertainty
	8	9	10	เฉลี่ย		
0	0	0	0	0	0	0
0.0983	0.7217	0.5903	0.1036	0.9213	0.6212	0.1965
0.1967	0.9279	1.1313	1.6583	1.6449	0.6201	0.1961
0.2950	1.2716	2.1889	2.3147	2.9037	1.0735	0.3395
0.3934	1.8215	2.8283	3.0748	5.1159	2.3606	0.7465
0.4917	2.7151	6.3207	4.4222	6.7984	2.3447	0.7415
0.5901	3.2306	7.2061	5.4241	8.1463	2.6848	0.8490
0.6884	8.3859	7.7964	6.2533	9.5679	2.6085	0.8249

จากตารางที่ 4.26 สามารถสังเกตเห็นได้ว่าค่าความเป็ยเบนมาตรฐานและค่าความไม่แน่นอนในการวัดจากการทดลองทั้ง 10 ครั้ง มีค่าสูงสุดคือ 2.6848% และ 0.8490% ตามลำดับ และมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 0.6201% และ 0.1961% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการศึกษาสมบัติการยืดตัวและความเครียดของเส้นไหมไทยชนิดเส้นไหมสองหรือไหมสาวเลย

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เส้นไหมชนิดที่สองหรือเส้นไหมสองหรือเส้นไหมสาวเลย ที่ได้จากการสาวไหมจากบริเวณเปลือกกุ้งไหมชั้นในและรังไหมชั้นนอกจากไหมพันธุ์เหลืองโพโรจน์ โดยเส้นไหมที่ใช้ในงานวิจัยมีขนาด 370 ดีเนียร์ จัดอยู่ในเส้นไหมที่มีขนาดเป็นเส้นใยอยู่ในกลุ่มที่ 4

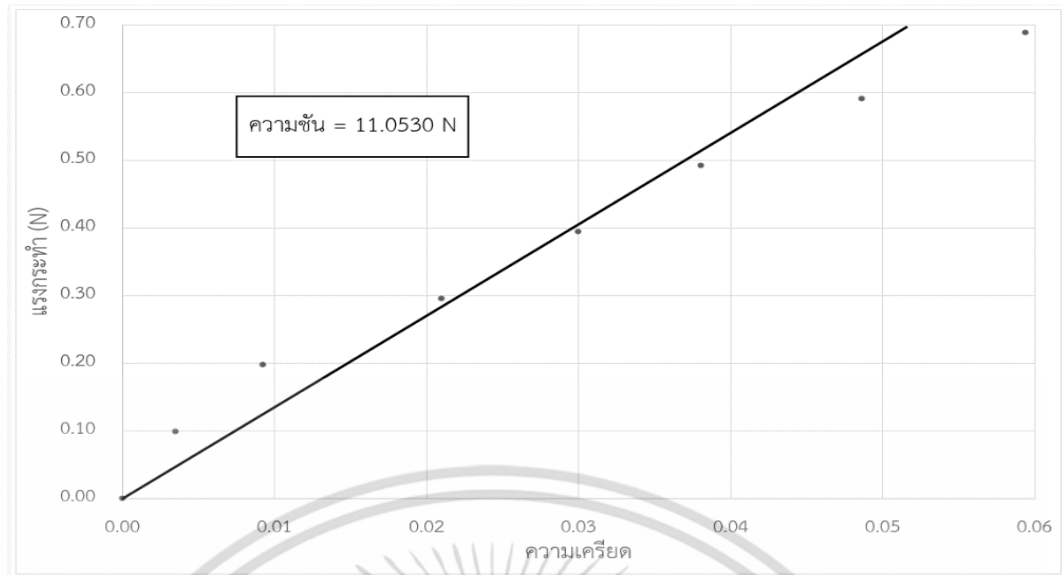
ตารางที่ 4.27 ผลการทดลองทั้ง 10 ครั้ง

แรงกระทำ (นิวตัน)	ความเครียดที่ได้จากการทดลอง						
	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	0	0	0
0.0983	0.0024	0.0040	0.0063	0.0017	0.0015	0.0008	0.0046
0.1967	0.0084	0.0089	0.0180	0.0084	0.0053	0.0026	0.0091
0.2950	0.0142	0.0133	0.0375	0.0562	0.0143	0.0050	0.0146
0.3934	0.0215	0.0232	0.0484	0.0659	0.0336	0.0074	0.0192
0.4917	0.0251	0.0323	0.0636	0.0738	0.0382	0.0102	0.0299
0.5901	0.0341	0.0408	0.0965	0.0778	0.0444	0.0152	0.0340
0.6884	0.0565	0.0501	0.1121	0.0830	0.0519	0.0192	0.0466

ตารางที่ 4.27(ต่อ) ผลการทดลองทั้ง 10 ครั้ง

แรงกระทำ (นิวตัน)	ความเครียดที่ได้จากการทดลอง				Standard deviation	Uncertainty
	8	9	10	เฉลี่ย		
0	0	0	0	0	0	0
0.0983	0.0077	0.0049	0.0012	0.0035	0.0022	0.0007
0.1967	0.0204	0.0075	0.0042	0.0093	0.0054	0.0017
0.2950	0.0343	0.0117	0.0087	0.0210	0.0154	0.0049
0.3934	0.0454	0.0142	0.0213	0.0300	0.0172	0.0054
0.4917	0.0606	0.0154	0.0318	0.0381	0.0201	0.0063
0.5901	0.0740	0.0210	0.0491	0.0487	0.0248	0.0079
0.6884	0.0895	0.0283	0.0572	0.0594	0.0267	0.0085

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและความเครียดของตัวอย่างจากค่าเฉลี่ยของการทดลองทั้ง 10 ครั้ง

จากตารางที่ 4.27 สามารถสังเกตได้ว่าค่าความเปื่อยเบนมาตรฐานและค่าความไม่แน่นอนในการวัดจากการทดลองทั้ง 10 ครั้ง มีค่าสูงสุดคือ 0.0267 และ 0.0085 ตามลำดับ และมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 0.0022 และ 0.0007 ตามลำดับ และจากรูปที่ 4.23 เมื่อนำค่าเฉลี่ยจากการทดลองทั้ง 10 ครั้ง มาสร้างเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและความเครียดของตัวอย่างจะพบว่ากราฟแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าว มีความชันคือ 11.0530 นิวตัน

ตารางที่ 4.28 ผลการทดลองทั้ง 10 ครั้ง

แรงกระทำ (นิวตัน)	ร้อยละของการยืดตัวที่ได้จากการทดลอง (%)						
	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	0	0	0
0.0983	0.2439	0.4041	0.6316	0.1734	0.1545	0.0788	0.4567
0.1967	0.8425	0.8891	1.7960	0.8421	0.5297	0.2626	0.9135
0.2950	1.4189	1.3337	3.7499	5.6221	1.4347	0.4989	1.4616
0.3934	2.1505	2.3238	4.8354	6.5880	3.3551	0.7353	1.9183
0.4917	2.5052	3.2331	6.3551	7.3806	3.8186	1.0241	2.9917
0.5901	3.4142	4.0818	9.6510	7.7768	4.4366	1.5230	3.4027
0.6884	5.6534	5.0113	11.2102	8.2969	5.1871	1.9169	4.6588

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานในสื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้หรือเผยแพร่ในสื่ออื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.28(ต่อ) ผลการทดลองทั้ง 10 ครั้ง

แรงกระทำ (นิวตัน)	ร้อยละของการยึดตัวที่ได้จากการทดลอง (%)				Standard deviation	Uncertainty
	8	9	10	เฉลี่ย		
0	0	0	0	0	0	0
0.0983	0.7739	0.4905	0.1208	0.3528	0.1826	0.0578
0.1967	2.0378	0.7474	0.4227	0.9283	0.4068	0.1286
0.2950	3.4308	1.1679	0.8656	2.0984	1.5114	0.4779
0.3934	4.5400	1.4248	2.1339	3.0005	1.6508	0.5220
0.4917	6.0619	1.5416	3.1807	3.8092	1.8654	0.5899
0.5901	7.4033	2.1021	4.9119	4.8704	2.3374	0.7392
0.6884	8.9510	2.8262	5.7171	5.9429	2.4786	0.7838

จากตารางที่ 4.28 สามารถสังเกตได้ว่าค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความไม่แน่นอนในการวัดจากการทดลองทั้ง 10 ครั้ง มีค่าสูงสุดคือ 2.4786% และ 0.7838% ตามลำดับ และมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 0.1826% และ 0.0578% ตามลำดับ

4.2.3 ผลการศึกษาสมบัติการยืดตัวและความเครียดของเส้นไหมไทยชนิดเส้นไหมสามหรือไหมสี่

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เส้นไหมชนิดที่สามหรือเส้นไหมสามหรือเส้นไหมสี่ ที่ได้จากการสาวไหมจากบริเวณเปลือกรังไหมชั้นนอกจากไหมพันธุ์เหลืองโพโรจน์ โดยเส้นไหมที่ใช้ในงานวิจัยมีขนาด 711 ดีเนียร์ จัดอยู่ในเส้นไหมที่มีขนาดเป็นเส้นใยอยู่ในกลุ่มที่ 5

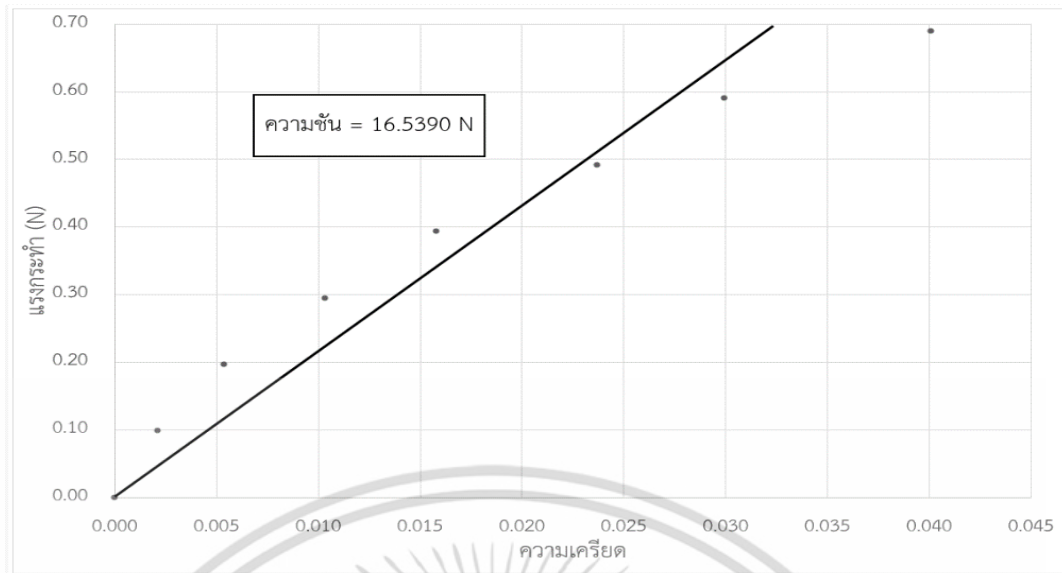
ตารางที่ 4.29 ผลการทดลองทั้ง 10 ครั้ง

แรงกระทำ (นิวตัน)	ความเครียดที่ได้จากการทดลอง						
	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	0	0	0
0.0983	0.0019	0.0022	0.0024	0.0015	0.0031	0.0048	0.0023
0.1967	0.0070	0.0053	0.0053	0.0036	0.0070	0.0074	0.0041
0.2950	0.0147	0.0115	0.0072	0.0067	0.0116	0.0113	0.0094
0.3934	0.0207	0.0176	0.0145	0.0098	0.0191	0.0139	0.0122
0.4917	0.0321	0.0401	0.0231	0.0134	0.0296	0.0162	0.0193
0.5901	0.0407	0.0524	0.0296	0.0214	0.0333	0.0212	0.0209
0.6884	0.0554	0.0865	0.0415	0.0232	0.0387	0.0312	0.0273

ตารางที่ 4.29(ต่อ) ผลการทดลองทั้ง 10 ครั้ง

แรงกระทำ (นิวตัน)	ความเครียดที่ได้จากการทดลอง				Standard deviation	Uncertainty
	8	9	10	เฉลี่ย		
0	0	0	0	0	0	0
0.0983	0.0011	0.0015	0.0007	0.0022	0.0011	0.0003
0.1967	0.0022	0.0062	0.0061	0.0054	0.0016	0.0005
0.2950	0.0050	0.0088	0.0173	0.0104	0.0035	0.0011
0.3934	0.0112	0.0149	0.0239	0.0158	0.0042	0.0013
0.4917	0.0132	0.0191	0.0313	0.0237	0.0087	0.0027
0.5901	0.0157	0.0242	0.0402	0.0300	0.0110	0.0035
0.6884	0.0205	0.0304	0.0466	0.0401	0.0186	0.0059

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและความเครียดของตัวอย่างจากค่าเฉลี่ยของการทดลองทั้ง 10 ครั้ง

จากตารางที่ 4.29 สามารถสังเกตได้ว่าค่าความเปื่อยเบนมาตรฐานและค่าความไม่แน่นอนในการวัดจากการทดลองทั้ง 10 ครั้ง มีค่าสูงสุดคือ 0.0186 และ 0.0059 ตามลำดับ และมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 0.0011 และ 0.0003 ตามลำดับ และจากรูปที่ 4.23 เมื่อนำค่าเฉลี่ยจากการทดลองทั้ง 10 ครั้ง มาสร้างเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและความเครียดของตัวอย่างจะพบว่ากราฟแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าว มีความชันคือ 16.5390 นิวตัน

ตารางที่ 4.30 ผลการทดลองทั้ง 10 ครั้ง

แรงกระทำ (นิวตัน)	ร้อยละของการยืดตัวที่ได้จากการทดลอง (%)						
	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	0	0	0
0.0983	0.1928	0.2153	0.2411	0.1544	0.3093	0.4850	0.2294
0.1967	0.6990	0.5283	0.5303	0.3603	0.6960	0.7390	0.4130
0.2950	1.4702	1.1545	0.7232	0.6692	1.1600	1.1316	0.9407
0.3934	2.0727	1.7611	1.4463	0.9781	1.9075	1.3856	1.2160
0.4917	3.2055	4.0115	2.3141	1.3384	2.9643	1.6166	1.9272
0.5901	4.0732	5.2443	2.9649	2.1363	3.3252	2.1247	2.0878
0.6884	5.5434	8.6492	4.1461	2.3165	3.8665	3.1177	2.7302

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.30(ต่อ) ผลการทดลองทั้ง 10 ครั้ง

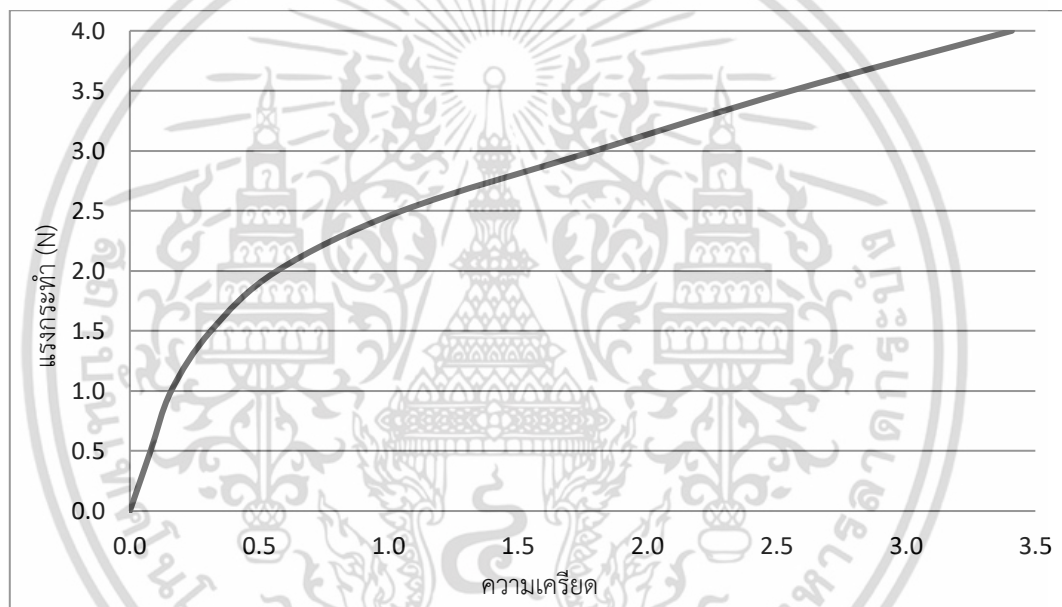
แรงกระทำ (นิวตัน)	ร้อยละของการยืดตัวที่ได้จากการทดลอง (%)				Standard deviation	Uncertainty
	8	9	10	เฉลี่ย		
0	0	0	0	0	0	0
0.0983	0.1121	0.1545	0.0702	0.2164	0.1150	0.0364
0.1967	0.2243	0.6181	0.6082	0.5417	0.1171	0.0370
0.2950	0.5046	0.8757	1.7311	1.0361	0.3620	0.1145
0.3934	1.1213	1.4938	2.3862	1.5769	0.4570	0.1445
0.4917	1.3175	1.9058	3.1348	2.3736	0.8135	0.2573
0.5901	1.5698	2.4209	4.0237	2.9971	1.0239	0.3238
0.6884	2.0464	3.0390	4.6553	4.0110	1.7408	0.5505

จากตารางที่ 4.30 สามารถสังเกตได้ว่าค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความไม่แน่นอนในการวัดจากการทดลองทั้ง 10 ครั้ง มีค่าสูงสุดคือ 1.7408% และ 0.5505% ตามลำดับ และมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 0.1150% และ 0.0364% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ผลการเปรียบเทียบการศึกษาสมบัติการยืดตัวและความเครียดของเส้นไหมไทย ด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์ริเลชันและเครื่องมือมาตรฐาน

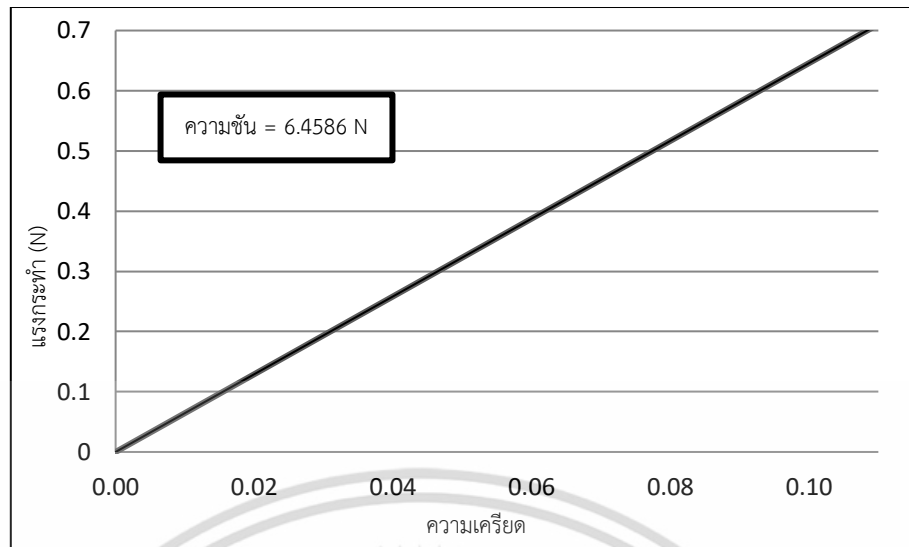
ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เส้นไหมชนิดที่หนึ่งหรือเส้นไหมหนึ่งหรือเส้นไหมน้อย เป็นตัวอย่างในการเปรียบเทียบความแตกต่างในการศึกษาสมบัติการยืดตัวและความเครียดของเส้นไหมไทยโดยการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์ริเลชันและค่าที่ได้จากเครื่องมือมาตรฐานของสถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยเส้นไหมที่ใช้ในงานวิจัยมีขนาด 166 ดีเนียร์ จัดอยู่ในเส้นไหมที่มีขนาดเป็นเส้นใยอยู่ในกลุ่มที่ 3



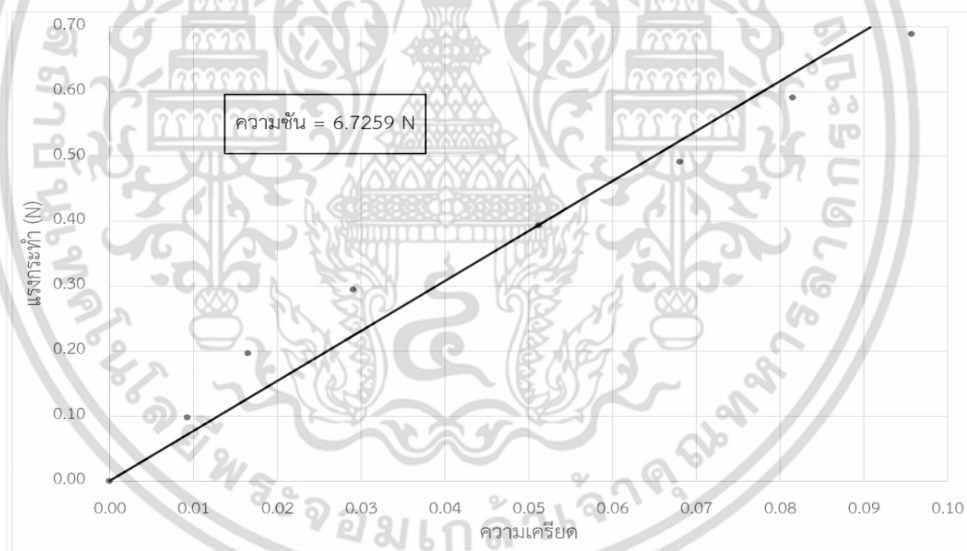
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและความเครียดของตัวอย่างจากเครื่องมือมาตรฐานของสถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ

จากรูปที่ 4.26 จะสามารถสังเกตเห็นได้ว่าเส้นไหมซึ่งใช้เป็นตัวอย่างในการทดสอบมีการแสดงสมบัติทั้งในแบบของอีลาสติก (Elastic) และในแบบของพลาสติก (Plastic) โดยในการวิจัยนี้เราจะสนใจเพียงช่วงที่ตัวอย่างแสดงสมบัติในแบบอีลาสติกซึ่งอยู่ในช่วงที่มีแรงกระทำระหว่าง 0 – 0.7 นิวตัน โดยในช่วงดังกล่าวสามารถหาความชันจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ได้เท่ากับ 6.4586 นิวตัน ดังแสดงในรูปที่ 4.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและความเครียดของตัวอย่างจากเครื่องมือมาตรฐานของสถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอในช่วงที่มีแรงกระทำ 0 - 0.7 นิวตัน



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและความเครียดของตัวอย่างจากวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชัน

จากรูปที่ 4.28 จะสามารถสังเกตได้ว่าเส้นไหมซึ่งใช้เป็นตัวอย่างในการทดสอบมีความชันจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและความเครียดเท่ากับ 6.7259 นิวตัน ซึ่งแตกต่างจากความชันที่ได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ของเครื่องมือมาตรฐานของสถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่ง

ทอเท่ากับ 4.0548 เปอร์เซ็นต์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 ผลการเปรียบเทียบการศึกษาสมบัติการยึดตัวและความเครียดของเส้นไหมไทยทั้งสามชนิด

การศึกษาสมบัติการยึดตัวและความเครียดของเส้นไหมไทยโดยวิธีการดิจิทัลอิมเมจคอร์ริเลชันในงานวิจัยชิ้นนี้ได้เลือกใช้เส้นไหมพันธุ์ไทยลูกผสมเหลืองไพโรจน์เป็นตัวอย่งในการศึกษา โดยเส้นใยไหมพันธุ์เหลืองไพโรจน์ที่ใช้เป็นตัวอย่งในการวิจัยจะแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่

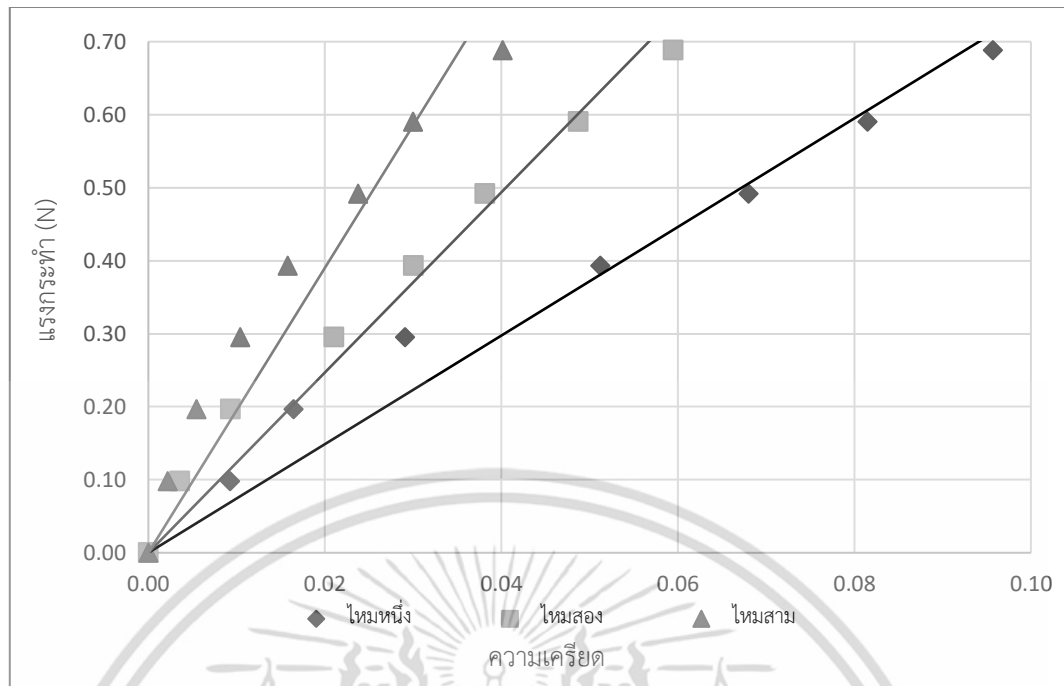
- 1) เส้นไหมหนึ่งหรือไหมน้อย ได้จากการสาวไหมจากส่วนเปลือกรังไหมชั้นใน มีขนาด 166 ดีเนียร์ อยู่ในกลุ่มเส้นไหมขนาดที่3
- 2) เส้นไหมสองหรือไหมสาวเลย ได้จากการสาวไหมจากส่วนเปลือกรังไหมชั้นในและชั้นนอก รวมกัน มีขนาด 370 ดีเนียร์ อยู่ในกลุ่มเส้นไหมขนาดที่4
- 3) เส้นไหมสามหรือไหมดิบ ได้จากการสาวไหมจากส่วนเปลือกรังไหมชั้นนอก มีขนาด 711 ดีเนียร์ อยู่ในกลุ่มเส้นไหมขนาดที่5

โดยผลการเปรียบเทียบเส้นไหมไทยทั้งสามชนิดมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

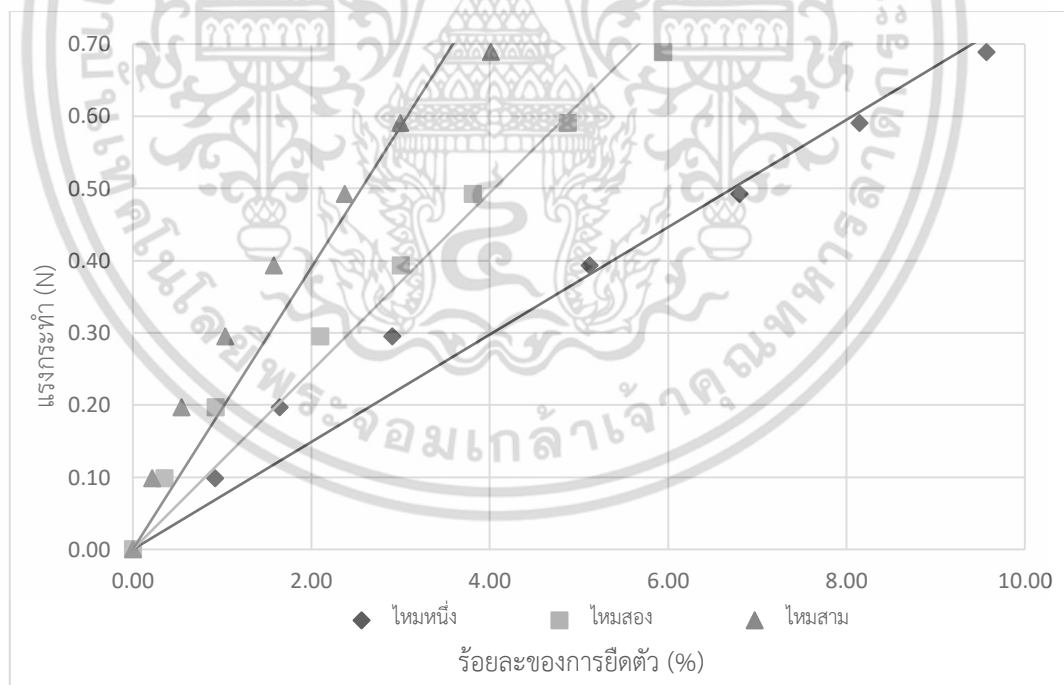
ตารางที่ 4.31 การเปรียบเทียบสมบัติการยึดตัวและความเครียดที่มีต่อเส้นไหมทั้งสามชนิด

แรงกระทำ (นิวตัน)	ความเครียด			ร้อยละของการยึดตัว (%)		
	ไหมหนึ่ง	ไหมสอง	ไหมสาม	ไหมหนึ่ง	ไหมสอง	ไหมสาม
0	0	0	0	0	0	0
0.0983	0.0092	0.0035	0.0022	0.9213	0.3528	0.2164
0.1967	0.0164	0.0093	0.0054	1.6449	0.9283	0.5417
0.2950	0.0290	0.0210	0.0104	2.9037	2.0984	1.0361
0.3934	0.0512	0.0300	0.0158	5.1159	3.0005	1.5769
0.4917	0.0680	0.0381	0.0237	6.7984	3.8092	2.3736
0.5901	0.0815	0.0487	0.0300	8.1463	4.8704	2.9971
0.6884	0.0957	0.0594	0.0401	9.5679	5.9429	4.0110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและความเครียดของเส้นไหมทั้งสามชนิด



รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและร้อยละของการยืดตัวของเส้นไหมทั้งสามชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.31 เมื่อเปรียบเทียบที่แรงกระทำต่อตัวอย่างที่เท่ากันจะสามารถสังเกตได้ว่า เส้นไหมสามมีความเครียดที่กระทำต่อตัวอย่างน้อยที่สุด รองลงมาคือเส้นไหมสองและมากที่สุดคือเส้นไหมหนึ่ง เช่นเดียวกับในกรณีของร้อยละของการยืดตัวของเส้นไหมทั้งสามชนิดซึ่งพบว่าเส้นไหมสามมีร้อยละของการยืดตัวน้อยที่สุด รองลงมาคือเส้นไหมสองและมากที่สุดคือเส้นไหมหนึ่ง โดยทั้งสองกรณี สอดคล้องกับกราฟแสดงความสัมพันธ์ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.29 และรูปที่ 4.30

ตารางที่ 4.32 การเปรียบเทียบผลการทดลองจากเส้นไหมทั้งสามชนิด

	ไหมหนึ่ง	ไหมสอง	ไหมสาม
ความเครียดสูงสุด	0.0957	0.0594	0.0401
ร้อยละของการยืดตัวสูงสุด (%)	9.5679	5.9429	4.0110
ขนาด (ดีเนียร์)	166	370	711

จากตารางที่ 4.32 พบว่าเส้นไหมสามมีความเครียดน้อยที่สุด รองลงมาคือเส้นไหมสองและมากที่สุดคือเส้นไหมหนึ่ง เช่นเดียวกับร้อยละของการยืดตัวสูงสุดของเส้นไหมหนึ่งมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือเส้นไหมสองและน้อยที่สุดคือเส้นไหมสาม ซึ่งสอดคล้องกับขนาดของเส้นไหมทั้งสามชนิด ซึ่งเส้นไหมสามมีขนาดใหญ่ที่สุด รองลงมาคือเส้นไหมสองและน้อยที่สุดคือเส้นไหมสาม

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ชิ้นนี้ได้นำเสนอการศึกษาสมบัติการยึดตัวและความเครียดของเส้นไหมไทยด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชัน โดยได้ทำการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาสมบัติดังกล่าวของเส้นไหมไทยซึ่งรายละเอียดของวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้สามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วนซึ่งมีผลสรุปดังต่อไปนี้

ในส่วนแรก การสอบเทียบวิธีการวัดการยึดตัวด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชันโดยการใช้สปริงที่ทราบค่านิสสปริงมีผลการดำเนินงานวิจัย คือ สามารถใช้วิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชันในการวัดการยึดตัวของสปริงได้ โดยค่านิสสปริงที่สามารถวัดได้โดยวิธีการดังกล่าวมีความผิดพลาดไปจากค่ามาตรฐานเพียง 0.5478 เปอร์เซ็นต์ สำหรับกล้องยี่ห้อ Canon รุ่น 60D และมีความผิดพลาดไปจากค่ามาตรฐานเพียง 1.8394 เปอร์เซ็นต์ สำหรับกล้องยี่ห้อ Nikon รุ่น D7100 จึงสามารถสรุปได้ว่าวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชันสามารถนำมาใช้ในการศึกษาสมบัติการยึดตัวของวัสดุที่มีขนาดเล็กได้

และในส่วนที่สอง การศึกษาสมบัติการยึดตัวและความเครียดของเส้นไหมไทยด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชัน มีผลการดำเนินงานวิจัย คือ สามารถใช้วิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชันในการศึกษาสมบัติการยึดตัวและความเครียดของเส้นไหมไทยได้ โดยการเปรียบเทียบค่าความชันจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่และความเครียดกระทำต่อตัวอย่างพบว่ามีความแตกต่างกัน 4.0548 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากตัวอย่างดังกล่าวเป็นเส้นใยที่มาจากธรรมชาติและมีกระบวนการผลิตที่ทำด้วยมือเป็นส่วนใหญ่จึงทำให้ตัวอย่างที่ใช้อาจมีความสม่ำเสมอน้อยกว่าวัสดุสังเคราะห์ และเมื่อเปรียบเทียบสมบัติการยึดตัวและความเครียดของเส้นไหมไทยทั้งสามชนิดที่ใช้ในการทดลองพบว่าเส้นไหมสามมีร้อยละของการยึดตัวและความเครียดเมื่อถูกแรงกระทำน้อยที่สุด รองลงมาคือเส้นไหมสอง และเส้นไหมหนึ่งตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับที่เส้นไหมสามมีขนาดของเส้นใยใหญ่ที่สุด รองลงมาคือเส้นไหมสองและเส้นไหมหนึ่งตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากเส้นไหมไทยที่ใช้เป็นตัวอย่างในวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้เป็นเส้นใยจากธรรมชาติและผ่านกระบวนการผลิตด้วยมือจึงอาจทำให้เส้นใยที่ใช้เป็นตัวอย่างมีความไม่สม่ำเสมอและทำให้ค่าที่สามารถวัดได้ในการทดลองแต่ละครั้งมีความแตกต่างกันจึงควรใช้ตัวอย่างที่มีกระบวนการเตรียมด้วยเครื่องจักรที่มีมาตรฐานเพิ่มเติมด้วยสำหรับการพัฒนางานวิจัยต่อไปในอนาคต

2. เนื่องจากในปัจจุบันกรมหม่อนไหม กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ มีการส่งเสริมให้เกษตรกรเลี้ยงตัวไหมเพียงพันธุ์เหลืองโพธิ์ร้อน ทำให้ผู้วิจัยไม่สามารถหาตัวอย่างเส้นไหมจากตัวไหมพันธุ์อื่นๆมาเปรียบเทียบได้ จึงควรมีการปรึกษาหารือและสร้างความร่วมมือในระดับองค์กรในอนาคตเพื่อนำเส้นไหมจากตัวไหมพันธุ์อื่นๆมาศึกษาสมบัติการยืดตัวและความเครียดเพิ่มเติมในอนาคต

อย่างไรก็ตามแม้ว่าการศึกษาสมบัติการยืดตัวและความเครียดของเส้นไหมไทยด้วยวิธีการดิจิตอลอิมเมจคอร์รีเลชันซึ่งแสดงไว้ในวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้จะมีความแตกต่างไปจากค่าที่วัดได้จากเครื่องมือมาตรฐานไปบ้าง แต่ผู้วิจัยก็หวังว่างานวิจัยชิ้นนี้จะเป็นประโยชน์ต่อนักศึกษาหรือผู้ที่มีความสนใจในการศึกษาสมบัติการยืดตัวของตัวอย่างซึ่งมีขนาดเล็กเพื่อนำเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาชุดการทดสอบที่มีขนาดเล็กและมีความแม่นยำสูงต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- [1] W.H. Peters and W.F. Ranson, “Digital imaging techniques in experimental stress analysis,” Opt. Eng. Paper 21, 427-431 (1982).
- [2] Wentzell, S., Nesbitt, R. S., Macione, J. and Kotha, S., “Measuring strain using digital image correlation of second harmonic generation image,” Journal of Biomechanics. Papers 46, 2032-2038 (2013).
- [3] Xu, X., Wang, K. and Gu, G., “An improved method for shape measurement using two-dimensional digital image correlation,” Optik. Papers 124, 4097-4099 (2013).
- [4] Sztfekek, P., Vanleene, M., Olsson, R., Collinson, R., and Pitsillides, A. A., “Using digital image correlation to determine bone surface strains during loading and after adaptation of the mouse tibia,” Journal of Biomechanics. Papers 43, 599-605 (2010).
- [5] Eskandari, M., Yadegari-Dehnavi, M. R., Zarei-Hanzaki, A. and Mohtadi-Bonab, M. A., “In-situ strain localization analysis in low density transformation-twinning induced plasticity steel using digital image correlation,” Optics and laser in engineering. Papers 67, 1-16 (2015).
- [6] Xu, L., Hou, Z., Fu, D., Yang, L., Yi, W. and Kang, H., “Measurement of electrostriction in bone using digital image correlation,” Optics and laser in engineering. Papers 65, 3-8 (2015).
- [7] Zhu, F., Bai, P., Zhang, J., Lei, D. and He, X., “Measurement of true stress-strain curves and evolution of plastic zone of low carbon steel under uniaxial tension using digital image correlation,” Optics and laser in engineering. Papers 65, 81-88 (2015).
- [8] Jiang, Z., Kemao, Q., Maio, H. and Tang, L., “Path-independent digital image correlation with high accuracy, speed and robustness,” Optics and laser in engineering. Papers 65, 93-102 (2015).
- [9] Chen, J., Zhun, N., Zhang, X. and Wang, J., “Improved extended digital image correlation for crack tip deformation measurement,” Optics and laser in engineering. Papers 65, 103-109 (2015).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10]Saranath, K.M., Sharma, A. and Ramji, M., “**Zone wise local characterization of welds using digital image correlation technique,**” Optics and laser in engineering. Papers 63, 30-42 (2014).
- [11]Thailand Ministry of Agriculture and Cooperatives. (2012). **Thai agricultural standard : Raw Silk volume 1 : Hand Reeled Thai Silk Yarn.**
- [12]The Queen Sirikit Department of Sericulture, Thailand Ministry of Agriculture and Cooperatives. (2014). **Thai Silk Standard.**
- [13]The Queen Sirikit Department of Sericulture, Thailand Ministry of Agriculture and Cooperatives. (2012). **Wisdom of Isan Indigenous Thai Silk Yarn.**
- [14]The Queen Sirikit Department of Sericulture, Thailand Ministry of Agriculture and Cooperatives. (2 0 1 2) . **Life Cycle of Silk.** [Online] Available : http://www.qsds.go.th/qsds_nort/inside_page.php?pageid=65
- [15]Thailand Textile Institute. (2016). **Textile Testing.** [Online] Available : <http://www.thaitextile.org>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPIE. | **PHOTONICS**
cjs | **ASIA**

CONNECTING MINDS.
 ADVANCING LIGHT.

20**16**

PHOTONICS ASIA

TECHNICAL
 PROGRAM

EXHIBITION
 GUIDE

WWW.SPIE.ORG/PA

Beijing International Convention Center,
 Beijing, China

Conferences: 12–14 October 2016

SPIE



Supported by:

China Association for Science
 and Technology (CAST)

National Natural Science
 Foundation, China (NSFC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Contents

SPECIAL EVENTS

Plenary Presentations.....	4
Technical/Networking Events.....	5
Floor Plans	6-7
Daily Event Schedule.....	8-9

TECHNICAL CONFERENCES

10016 High-Power Lasers and Applications VIII (Li, Singh, Walter)	10
10017 Semiconductor Lasers and Applications VII (Zhu, Hofmann)	13
10018 Advanced Laser Processing and Manufacturing (Zhong, Lawrence, Hong, Liu)	16
10019 Optoelectronic Devices and Integration VI (Zhang, Li, Yu)	17
10020 Optoelectronic Imaging and Multimedia Technology IV (Dai, Shimura)	20
10021 Optical Design and Testing VII (Wang, Kidger, Tatsuno)	22
10022 Holography, Diffractive Optics, and Applications VII (Sheng, Yu, Zhou).....	25
10023 Optical Metrology and Inspection for Industrial Applications IV (Han, Yoshizawa, Zhang)	29
10024 Optics in Health Care and Biomedical Optics VII (Luo, Li, Gu, Tang)	32
10025 Advanced Sensor Systems and Applications VII (Liu, Jiang, Landgraf)	38
10026 Real-time Photonic Measurements, Data Management, and Processing II (Li, Jalali, Goda, Tsia)	41
10027 Nanophotonics and Micro/Nano Optics III (Zhou, Wada)	43
10028 Plasmonics II (Xu, Kawata, Bergman, Zhu)	46
10029 Quantum and Nonlinear Optics IV (Gong, Guo, Ham)	48
10030 Infrared, Millimeter-Wave, and Terahertz Technologies IV (Zhang, Zhang, Tan)	51

EXHIBITION

Exhibition	71
------------------	----

GENERAL INFORMATION

Proceedings of SPIE	59
Index of Authors, Chairs, and Committee Members.....	56
General Information	75
SPIE Policies	76

SPIE.

SPIE is the international society for optics and photonics, a not-for-profit organization founded in 1955 to advance light-based technologies. The Society serves nearly 225,000 constituents from approximately 150 countries, offering conferences, continuing education, books, journals, and a digital library in support of interdisciplinary information exchange, professional growth, and patent precedent. SPIE provided \$3.2 million in support of education and outreach programs in 2013.



Founded in 1979, The Chinese Optical Society (COS) was a nongovernmental organization of scientific and technological workers in the field of optics and optical engineering. COS was organized to advance the technology development of optics and promote the communication of scientists, engineers, educators and students.

SPIE. | **PHOTONICS**
COS | **ASIA**

www.spie.org/pa

Follow us on: [f](#) [t](#) [@](#) [v](#) [in](#) #PhotonicsAsia

1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROCEEDINGS OF SPIE

Optical Metrology and Inspection for Industrial Applications IV

Sen Han
Toru Yoshizawa
Song Zhang
Editors

12–14 October 2016
Beijing, China

Sponsored by
SPIE
COS—Chinese Optical Society

Cooperating Organizations
Tsinghua University (China) • Peking University (China) • University of Science and Technology of China (China)
Zhejiang University (China) • Tianjin University (China) • Beijing Institute of Technology (China) • Beijing University of
Posts and Telecommunications (China) • Nankai University (China) • Changchun University of Science and
Technology (China) • University of Shanghai for Science and Technology (China) • Capital Normal University (China)
Huazhong University of Science and Technology (China) • Beijing Jiaotong University (China) • Shanghai Institute of
Optics and Fine Mechanics (China) • Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics (China) • Institute of
Semiconductors (China) • Institute of Optics and Electronics (China) • Institute of Physics (China) • Shanghai Institute
of Technical Physics (China) • China Instrument and Control Society (China) • Optoelectronics Technology
Committee, COS (China) • SPIE National Committee in China (China) • Optical Society of Japan (Japan) • Optical
Society of Korea (Korea, Republic of) • The Australian Optical Society (Australia) • Optics and Photonics Society of
Singapore (Singapore) • European Optical Society

Supporting Organizations
CAST—China Association for Science and Technology (China)
NSFC—National Nature Science Foundation (China)

Published by
SPIE

Volume 10023

Proceedings of SPIE 0277-786X, V. 10023

SPIE is an international society advancing an interdisciplinary approach to the science and application of light.

Optical Metrology and Inspection for Industrial Applications IV, edited by Sen Han, Toru Yoshizawa, Song Zhang,
Proc. of SPIE Vol. 10023, 1002301 • © 2016 SPIE • CCC code: 0277-786X/16/\$18 • doi: 10.1117/12.2265117

Proc. of SPIE Vol. 10023 1002301-1

Downloaded From: <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/> on 01/17/2017 Terms of Use: <http://spiedigitallibrary.org/ss/termsofuse.aspx>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The papers in this volume were part of the technical conference cited on the cover and title page. Papers were selected and subject to review by the editors and conference program committee. Some conference presentations may not be available for publication. Additional papers and presentation recordings may be available online in the SPIE Digital Library at SPIDigitalLibrary.org.

The papers reflect the work and thoughts of the authors and are published herein as submitted. The publisher is not responsible for the validity of the information or for any outcomes resulting from reliance thereon.

Please use the following format to cite material from these proceedings:

Author(s), "Title of Paper," in *Optical Metrology and Inspection for Industrial Applications IV*, edited by Sen Han, Toru Yoshizawa, Song Zhang, Proceedings of SPIE, Vol. 10023 (SPIE, Bellingham, WA, 2016) Seven-digit Article CID Number.

ISSN: 0277-786X
 ISSN: 1996-756X (electronic)
 ISBN: 9781510604650
 ISBN: 9781510604667 (electronic)

Published by
SPIE
 P.O. Box 10, Bellingham, Washington 98227-0010 USA
 Telephone +1 360 676 3290 (Pacific Time) · Fax +1 360 647 1445
SPIE.org

Copyright © 2016, Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers.

Copying of material in this book for internal or personal use, or for the internal or personal use of specific clients, beyond the fair use provisions granted by the U.S. Copyright Law is authorized by SPIE subject to payment of copying fees. The Transactional Reporting Service base fee for this volume is \$18.00 per article (or portion thereof), which should be paid directly to the Copyright Clearance Center (CCC), 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923. Payment may also be made electronically through CCC Online at copyright.com. Other copying for republication, resale, advertising or promotion, or any form of systematic or multiple reproduction of any material in this book is prohibited except with permission in writing from the publisher. The CCC fee code is 0277-786X/16/\$18.00.

Printed in the United States of America.

Publication of record for individual papers is online in the SPIE Digital Library.

SPIE. DIGITAL LIBRARY
SPIDigitalLibrary.org

Paper Numbering: Proceedings of SPIE follow an e-First publication model. A unique citation identifier (CID) number is assigned to each article at the time of publication. Utilization of CIDs allows articles to be fully citable as soon as they are published online, and connects the same identifier to all online and print versions of the publication. SPIE uses a seven-digit CID article numbering system structured as follows:

- The first five digits correspond to the SPIE volume number.
- The last two digits indicate publication order within the volume using a Base 36 numbering system employing both numerals and letters. These two-number sets start with 00, 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 0A, 0B ... 0Z, followed by 10-1Z, 20-2Z, etc. The CID Number appears on each page of the manuscript.

Proc. of SPIE Vol. 10023 1002301-2

Downloaded From: <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/> on 01/17/2017 Terms of Use: <http://spiedigitallibrary.org/ss/termsofuse.aspx>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Elongation measurement using 1-dimensional image correlation method

Phachara Phongwisit, Surachart Kamoldilok, and Prathan Buranasiri*

Department of Physics, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

ABSTRACT

Aim of this paper was to study, setup, and calibrate an elongation measurement by using 1- Dimensional Image Correlation method (1-DIC). To confirm our method and setup correctness, we need calibration with other methods. In this paper, we used a small spring as a sample to find a result in terms of spring constant. With a fundamental of Image Correlation method, images of formed and deformed samples were compared to understand the difference between deformed process. By comparing the location of reference point on both image's pixel, the spring's elongation were calculated. Then, the results have been compared with the spring constants, which were found from Hooke's law. The percentage of 5 percent error has been found. This DIC method, then, would be applied to measure the elongation of some different kinds of small fiber samples.

Keywords: 1-Dimension, Camera, Elongation, Image, Image correlation, Measurement, Pixel, Spring constant

1. INTRODUCTION

Digital image correlation (DIC) is one of nondestructive measurements that have been used in many fields. Since first proposed by Peters and Ranson, this kind of measurement had been widely used to study physical property in many education fields. With a fundamental of DIC, images of deformed processes have been compared to understand an effect of deformed process on sample. Now, the number of researcher focuses to use DIC to study transformation in 2-Dimension (2D) and 3-Dimension (3D) properties of samples. Classical 2D-DIC method normally used only 1 digital camera to determine strain of sample on deformed process^[2,4-5] and 3D-DIC used a number of cameras to determine sample shape of deformed in 3D^[3].

In commercial and educational fields, elongation property can measure with Tensile testing machine. But this machine can be used to measure only a bulk sample. In this paper, we proposed a simple method to measure an elongation of a small sample by used 1-Dimensional DIC method. This paper focus to create a setup to identify a smallest difference on deformed process.

* prathan.bu@kmitl.ac.th

Optical Metrology and Inspection for Industrial Applications IV, edited by Sen Han, Toru Yoshizawa, Song Zhang,
Proc. of SPIE Vol. 10023, 1002305 · © 2016 SPIE · CCC code: 0277-786X/16/\$18 · doi: 10.1117/12.2245877

Proc. of SPIE Vol. 10023 1002305-1

Downloaded From: <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/> on 11/25/2016 Terms of Use: <http://spiedigitallibrary.org/ss/TermsOfUse.aspx>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. PRINCIPLES

2.1 1-Dimensional image correlations

In this research, we assume that the spring only has transformation in vertical-axis. After a applied force on the spring, there are two kinds of transformation of the reference point. The first one is the translation down in vertical-axis from initial point. And the other is extended size of reference point. In Figure 1, a simple sketch of the transformation of reference point in our work is shown.

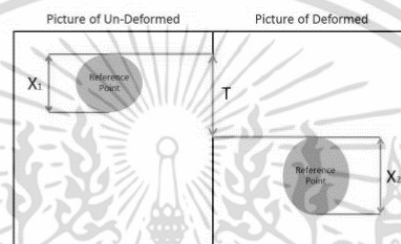


Figure 1. 1-DIC method transformation of reference point including translated distance and extended distance.

Total transformation of reference point can be calculated using the following equation.

$$T_{total} = T + (X_2 - X_1) \quad (1)$$

Where, T is the translating distance of reference point during applied force, X_1 is the size of reference point of un-deformed spring and X_2 is the size of reference point of deformed spring.

Using the equation (1), the spring extended distance during applying the force. The spring constant factor was found from the graph between forces and extended distance. The slope of this plot is spring constant factor according to equation (3).

2.2 Hooke's law

Hooke's law is a principle of physics that is used to explain response of springs or other elastic material during apply a force. After applying a force (F) to spring, the spring is extended to a distance (X). This relation between force and extended distance of spring is linear with spring constant factor (K) within its elastic limits. The relation between force and extended distance of linear spring is giving in following equation.

$$F = kX \quad (2)$$

Where, F is the applied force on the spring, X is extended distance of spring and k is the spring constant factor.

Or equivalently,

$$k = F/X \quad (3)$$

According to equation (3), the plot between forces as a function of extended distance of spring is a straight line beginning from the origin. Slope of this plot is the spring constant factor (k) that is the characteristic of the spring.

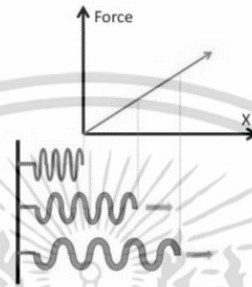


Figure 2. Plot between applied forces and extend distance of spring according to Hooke's law.

3. EXPERIMENTAL SETUP

In this research, a Canon 60D DSLR-camera with a Canon 100 mm macro-lens was used to measure an spring extension on deformed process shown in figure 3. The camera with a macro-lens was fixed at a point in front of the spring and its holder for taking a picture of the reference point and the region of interested during the deformed processes.



Figure 3. Schematic of the experimental setup for spring's elongation measurement

With a resolution of 5184x3456 pixels of 60D camera and magnification of macro-lens, the smallest difference on deformed process can be measured by the differential number of pixel between two pictures. Then, the extended distance can be found by comparing the location different of reference point of both picture's pixel in the process. Finally, spring constant factor can be found by the plot of forces and extended distance in the experiment.

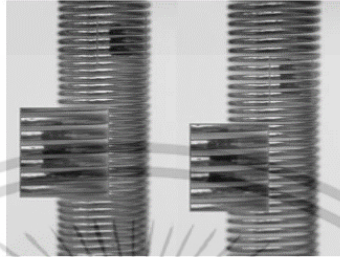


Figure 4. Pictures of spring between un-deformed and deformed process.

4. RESULTS AND DISCUSSION

To confirm our work, a large number of experiment had been done. Figure 5 shows a set of plot between force and extended distance of some-example results in the experiment. Results from average all experimental test have been described in following.

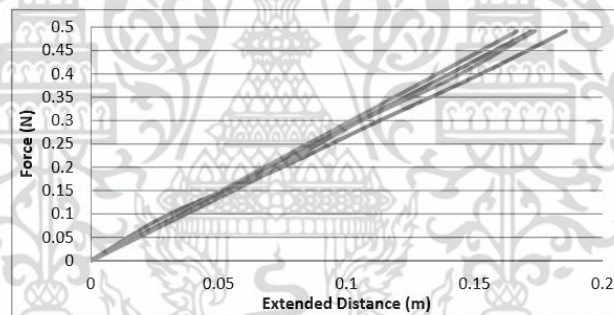


Figure 5. Example results from 1D-DIC method plot between force and extended distance.

In our experiment, we used a small spring with its spring constant factor of 2.6476 N/m as a standard constant factor to calibrate our method. A set of picture of un-deformed and deformed on the spring have been taken. Some example sets of pictures on different deformed processes are shown in Figure 6.

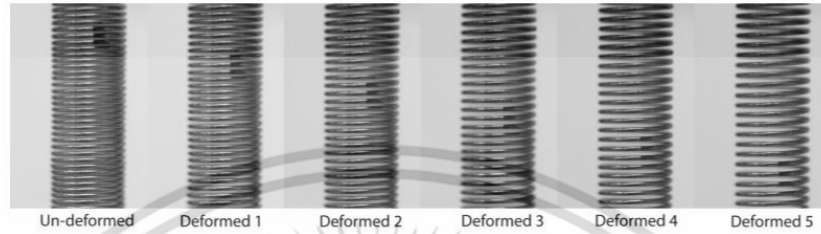


Figure 6. Pictures of spring sample on deformed process.

Results from pictures show that spring was translated down in vertical-axis according to the applied forces. A number of pixel of transformation found from a set of picture is shown in table1. With a size of pixel and transformation distance using equation (1), extended distance can be found and calculated in meter.

Table 1. Result from 1D-DIC method.

Force	Average total translation	
	In pixel	In meter
0	0	0
0.0983	698.5450	0.0340
0.1967	1444.8580	0.0703
0.2950	2148.5390	0.1046
0.3934	2893.8250	0.1408
0.4917	3586.2070	0.1746

Plot between force and extended distance of average results from table 1 is shown in figure 7. Using this plot, the spring constant factor was found equal to 2.8038 N/m, with the error from its standard constant factor about 5.7306 %.

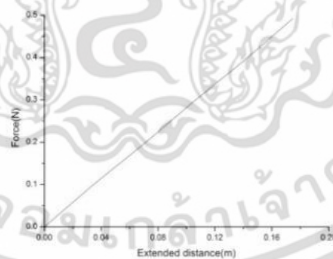


Figure 7. Plot between of force and extended distance from result in table 1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. CONCLUSION

An elongation measurement method using 1-dimensional image correlation is proposed in this work. The principle, experimental demonstration, and results is shown. In this paper, a small spring with known spring constant was used to calibrate our work. The percentage of error in the experimental results has been found equal to 5.7306%. With this method, undergraduate student or high school student can study the elongation property of small fiber or other samples.

REFERENCE

- [1] W.H. Peters and W.F. Ranson, "Digital imaging techniques in experimental stress analysis," *Opt. Eng. Paper* 21, 427-431 (1982).
- [2] Wentzell, S., Nesbitt, R. S., Macione, J. and Kotha, S., "Measuring strain using digital image correlation of second harmonic generation image," *Journal of Biomechanics. Papers* 46, 2032-2038 (2013).
- [3] Xu, X., Wang, K. and Gu, G., "An improved method for shape measurement using two-dimensional digital image correlation," *Optik. Papers* 124, 4097-4099 (2013).
- [4] Sztfelek, P., Vanleene, M., Olsson, R., Collinson, R., and Pitsillides, A. A., "Using digital image correlation to determine bone surface strains during loading and after adaptation of the mouse tibia," *Journal of Biomechanics. Papers* 43, 599-605 (2010).
- [5] Eskandari, M., Yadegari-Dehnavi, M. R., Zarei-Hanzaki, A. and Mohtadi-Bonab, M. A., "In-situ strain localization analysis in low density transformation-fwinning induced plasticity steel using digital image correlation," *Optics and laser in engineering. Papers* 67, 1-16 (2015).
- [6] Xu, L., Hou, Z., Fu, D., Yang, L., Yi, W. and Kang, H., "Measurement of electrostriction in bone using digital image correlation," *Optics and laser in engineering. Papers* 65, 3-8 (2015).
- [7] Zhu, F., Bai, P., Zhang, J., Lei, D. and He, X., "Measurement of true stress-strain curves and evolution of plastic zone of low carbon steel under uniaxial tension using digital image correlation," *Optics and laser in engineering. Papers* 65, 81-88 (2015).
- [8] Jiang, Z., Kemao, Q., Maio, H. and Tang, L., "Path-independent digital image correlation with high accuracy, speed and robustness," *Optics and laser in engineering. Papers* 65, 93-102 (2015).
- [9] Chen, J., Zhun, N., Zhang, X. and Wang, J., "Improved extended digital image correlation for crack tip deformation measurement," *Optics and laser in engineering. Papers* 65, 103-109 (2015).
- [10] Saranath, K.M., Sharma, A. and Ranji, M., "Zone wise local characterization of welds using digital image correlation technique," *Optics and laser in engineering. Papers* 63, 30-42 (2014).

Proc. of SPIE Vol. 10023 1002305-6

Downloaded From: <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/> on 11/25/2016 Terms of Use: <http://spiedigitallibrary.org/ss/TermsOfUse.aspx>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นาย พชร พงศ์วิสิทธิ์
วัน เดือน ปีเกิด	12 พฤศจิกายน 2535
ที่อยู่ปัจจุบัน	90/383 ดิคอนโด(อ่อนนุช-สุวรรณภูมิ) ถนนลาดกระบัง แขวง/เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
ประวัติการศึกษา	(2557) วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ เกรดเฉลี่ย 2.83 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานทางวิชาการ	1. นำเสนอผลงานในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ The 4 th International Symposium on Fundamental and Applied Sciences (ISFAS) ระหว่างวันที่ 29-31 มีนาคม 2559 ณ เมืองเกียวโต ประเทศญี่ปุ่น ในหัวข้อ “Low Cost Ultraviolet-Visible Spectroscope Using LED Light Source” 2. นำเสนอผลงานในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ 2016 Photonics Asia ระหว่างวันที่ 12-14 ตุลาคม 2559 ณ กรุงปักกิ่ง สาธารณรัฐประชาชนจีน ในหัวข้อ “Elongation Measurement Using 1-Dimensional Image Correlation”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้