

การศึกษาการควบคุมฐานเลื่อนโดยโปรแกรม LabVIEW

เพื่อประยุกต์ใช้กับระบบคีมจับเชิงแสง

THE STUDY OF PROGRAMMING THE XYZ

TRANSLATION STAGE WITH LABVIEW FOR

APPLICATIONS IN OPTICAL TWEEZERS



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

การศึกษาการควบคุมฐานเลื่อนโดยโปรแกรม LabVIEW
เพื่อประยุกต์ใช้กับระบบคีมจับเชิงแสง
THE STUDY OF PROGRAMMING THE XYZ
TRANSLATION STAGE WITH LABVIEW FOR
APPLICATIONS IN OPTICAL TWEEZERS



T149277

วีระชัย พรประสิทธิ์
โสภา จิตยะแสง

ร.พ.

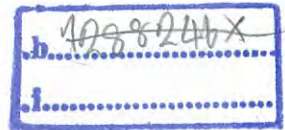
2844 ก

2558

เลขหมู่..... 149277

เลขทะเบียน.....

วันเดือนปี 30 อ.ค. 2561



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE STUDY OF PROGRAMMING THE XYZ
TRANSLATION STAGE WITH LABVIEW FOR
APPLICATIONS IN OPTICAL TWEEZERS



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาการควบคุมฐานเลื่อนโดยโปรแกรม LabVIEW เพื่อประยุกต์ใช้กับระบบคีมจับเชิงแสง
The Study of Programming the xyz Translation Satge with LabVIEW for Application in Optical Tweezers

ชื่อนักศึกษา นายวีระชัย พรประสิทธิ์ รหัสนักศึกษา 55051617
นางสาวโสภา จิตยะแสง รหัสนักศึกษา 55051661

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา ฟิสิกส์
ปีการศึกษา 2558
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.วรการ นียากร

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์) ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.กมลปัญญา สุวรรณสุข ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.ประธาน บุรณศิริ กรรมการ	
ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข กรรมการ	
ดร.วรการ นียากร กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาการควบคุมฐานเลื่อนโดยโปรแกรม LabVIEW เพื่อประยุกต์ใช้กับระบบคิมจับเชิงแสง	
ชื่อนักศึกษา	นายวีระชัย พรประสิทธิ์	รหัสนักศึกษา 55051617
	นางสาวโสภา จิตยะแสง	รหัสนักศึกษา 55051661
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)	
ภาควิชา	ฟิสิกส์	
คณะ	วิทยาศาสตร์	
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง(สจล.)	
ปีการศึกษา	2558	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.วรการ นียากร	

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการเขียนโปรแกรมควบคุมฐานเลื่อน Piezo Stage ในแนวแกน XY โดยการป้อนแรงดันไฟฟ้าผ่านเครื่อง 3 AXIS PIEZO CONTROLLER ซึ่งมีความละเอียด และแม่นยำ และทำการติดตั้งระบบฐานเลื่อน Piezo Stage พร้อมโปรแกรม ร่วมกับระบบคิมจับเชิงแสง โดยการติดตั้งกับกล้องจุลทรรศน์ เพื่อสะดวกต่อการเซทระบบภาพ โดยในงานนี้ได้ทำการเก็บภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหวจากกล้อง วิดีโอ จากนั้นทำการทดสอบการเลื่อนฐาน Piezo Stage พร้อมทั้งวัดระยะการเลื่อนแบบปรับไมโครมิเตอร์เทียบกับการป้อนแรงดันไฟฟ้า ซึ่ง Piezo Stage เลื่อนได้อย่างอัตโนมัติในระยะการแบบระดับไมโครสเกล โดยสังเกตการเลื่อนของตำแหน่งอนุภาคโดยอนุภาคตัวอย่างที่ได้ทำการศึกษานั้นมีขนาดเล็กในระดับไมครอน โดยในที่นี้ระบบจะแสดงการควบคุมอนุภาคได้อย่างอัตโนมัติในเวลาที่กำหนด และในอนาคตสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับทางด้านระบบชีววิทยาต่อไป

คำสำคัญ : การควบคุมฐานเลื่อน

Title	The Study of Programming the xyz Translation stage with LabVIEW for Application in Optical Tweezers	
Students	Mr.Weerachai Pornprasit	Student ID 55051617
	Miss Sopa Jityasang	Student ID 55051661
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)	
Department	Physics	
Faculty	Science	
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
Academic Year	2015	
Advisor	Dr.Worakarn Neeyakorn	

Abstract

Optical Tweezers system is widely used to trap the microparticles and it has various applications in physics and biology fields. However, in many applications, it has shown that it is important to be able to control the particles in real time. In this undergraduate thesis describes the setup of the optical tweezers system which is based on an inverted microscope design. We also focus on programming the xyz translation Stager integrated within the optical tweezers system. The result has shown that program can control to xyz translator automatically within the micro scale. In this save Image and video from web camera, Then Testing program control to xy translation stage together with measure the distant between Adjusting Micrometer and, control xy translation stage by program. This system shows the potential that it can automatically control any particles in real time and, in the future, it can be applied as a tool to study the mechanical of biological systems.

Keywords : Optical Tweezers

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ดีเนื่องจากได้รับความสนับสนุน ให้คำปรึกษาและแนะนำของ ดร.วรการ นียากร ผู้ซึ่งให้คำปรึกษาด้านวิชาการเกี่ยวกับระบบคัมจับเชิงแสง ตลอดจนยังช่วยอธิบายและวิธีการแก้ไขต่างๆที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำดำเนินงาน รวมไปถึงการฝึกฝนทักษะการคิดและแก้ไขปัญหา ซึ่งทำให้ลูกศิษย์สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันและการเรียนการศึกษา ตลอดจนการทำงานในระดับสูงต่อไป

ขอขอบคุณ คณาจารย์ นักศึกษาปริญญาโทและปริญญาเอก พี่บัณฑิตใหม่ ของคณะวิทยาศาสตร์ สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อันประกอบด้วย ผศ.ดร.ประธาน บุรณศิริ ดร.กาจปัญญา สุวรรณสุข รศ.สาหร่าย เล็กชอุ่ม ดร.สุรชาติ กมลติติก อ.ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง รศ.ดร.วราวุฒิ เถลัดดา ดร.ศ.ทิพวรรณ คล้ายบุญมี นายนภาพร เหล่าวัฒนธรรม นางสาวนิภารัตน์ เจียมอนันท์กุล นายพรประเสริฐ พุทธนรากุล ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำและอธิบาย อีกทั้งยังเอื้อเฟื้ออุปกรณ์เครื่องมือให้กับทางผู้จัดทำได้ศึกษาทดลองทำให้มีความรู้ความเข้าใจมากยิ่งขึ้น และยังสามารถปรับปรุงแก้ไขให้โครงการพิเศษนี้มีประสิทธิภาพและมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ บรรดาคุณครู อาจารย์ ทุกท่านที่เมตตาประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ในทุกแขนงวิชา ตั้งแต่เยาว์วัยมาจนถึงปัจจุบัน ตลอดจน กราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ที่ให้อุปการะเลี้ยงดูเป็นอย่างดีรวมถึงได้มอบโอกาสทางการศึกษาและยังสอนวิธีการดำเนินชีวิตที่ดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆต่างสาขา ต่างคณะ ต่างมหาวิทยาลัย และเพื่อนสาขาวิชาฟิสิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกคน ที่ได้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาอีกทั้งยังเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา ขอขอบพระคุณจากใจจริง

วีระชัย พรประสิทธิ์
โสภา จิตยะแสง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
คำย่อ/สัญลักษณ์	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 คีมจับเชิงแสง	4
2.1.1 คีมจับเชิงแสงคืออะไร	4
2.2 หลักการทำงานของคีมจับเชิงแสง	5
2.2.1 กรณี ขนาดของอนุภาค d น้อยกว่าความยาวคลื่นแสงเลเซอร์	5
2.2.2 กรณี ขนาดของอนุภาค d มากกว่าความยาวคลื่นแสงเลเซอร์	5
2.3 การใช้คีมจับเชิงแสงในการวัดแรง	7
2.4 คีมจับเชิงแสงสำหรับจับอนุภาคหลายตัว	8
2.5 คีมจับเชิงแสงแบบออปติคส์ในอากาศ	9
2.5.1 เลเซอร์สำหรับจับอนุภาค	9
2.5.2 เลนส์วัตถุกล้องจุลทรรศน์	9
2.5.3 อุปกรณ์บังคับตำแหน่งคีมจับเชิงแสง	10
2.5.3.1 การเลื่อนระนาบตัวอย่าง	10
2.5.3.2 การบังคับทิศทางของลำแสง	10
2.5.4 อุปกรณ์บันทึกภาพและตำแหน่งของอนุภาค	10
2.6 การประยุกต์ใช้งานคีมจับเชิงแสง	11
2.6.1 การศึกษาด้านชีววิทยาในระดับเซลล์	11
2.6.2 การศึกษาด้านชีววิทยาระดับโมเลกุล	12
2.7 การประยุกต์ใช้ LabVIEW กับ Optical Tweezers	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.7.1 การใช้ LabVIEW เบื้องต้น	14
2.7.2 ส่วนประกอบต่างๆ ใน LabVIEW	15
2.7.3 เครื่องมือที่ใช้ออกแบบ	16
2.7.3.1 Front Panel	16
2.7.3.2 Block Diagram	18
2.7.2.3 Icon และ Connector	19
2.8 Piezo Electric คืออะไร	20
2.8.1 ไพโซโซอิเล็กทริกเซรามิก	20
2.8.2 หลักการทำงานของสารไพโซโซอิเล็กทริกเซรามิก	2
2.8.2.1 การทำงานของไพโซโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์	20
2.8.2.2 การทำงานของไพโซโซอิเล็กทริกแอกชวลเอเตอร์	21
2.8.3 ลักษณะการทำงานของไพโซโซอิเล็กทริกเซรามิก	21
2.8.3.1 การทำงานในลักษณะของ longitudinal mode	21
2.8.3.2 การทำงานในลักษณะของ Transverse mode	22
2.8.4 คุณสมบัติทางไฟฟ้าและทางกลของไพโซโซอิเล็กทริกเซรามิก	22
2.9 NanoMax TS 3 Axis Flexure Stage	24
2.9.1 SMC connector ทางเชื่อมต่อกับแรงดันไฟฟ้า	25
2.9.2 Manual Differential Drives and Differential Micrometer Drives	25
2.9.3 Orienting the Moving Platform	25
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	26
3.1 เขียนโปรแกรม ในการควบคุมการเลื่อนตำแหน่งของ Piezo Stage	26
3.2 การเตรียมอนุภาคตัวอย่าง (Sample Particle)	29
3.3 ออกแบบและวางแผนการสร้างอุปกรณ์คีมจับเชิงแสง	30
3.4 ขั้นตอนการติดตั้งระบบคีมจับเชิงแสง)	33
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	34
4.1 การเขียนโปรแกรม LabVIEW Control Piezo Stage	34
4.2 การนำโปรแกรม LabVIEW Control Piezo Stage ใช้ในระบบคีมจับเชิงแสง	35
4.2.1 ผลการจัดระบบ Piezo Stage	35
4.3 ผลการทดสอบการทำงานของระบบการควบคุมการเลื่อนตำแหน่ง Slide โดย Piezo Stage ในตำแหน่ง XY	36
4.3.1 การใช้ Piezo Stage เข้ากับกล้องจุลทรรศน์ เพื่อสังเกตตำแหน่งการเคลื่อนที่ ในแนว XY	36
4.4 การสังเกตการเลื่อน Piezo Stage แบบ Manual และ ผ่านโปรแกรมในแนวแกน XY	37

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.4.1 สิ่งเกิดการเลื่อน Piezo Stage แบบ ผ่านโปรแกรม	37
4.5 ผลการทดสอบการทำงานของระบบการควบคุมตำแหน่ง Slide โดย Piezo Stage ในลักษณะเลื่อนตำแหน่งแนวแกน XY พร้อมผ่านโปรแกรม พร้อมระบบ คีมจับเชิงแสง	41
4.5.1 ผลทดสอบระบบคีมจับเชิงแสง	41
4.6 การวัดตำแหน่งการเลื่อน Piezo Stage แบบ Manual และ ผ่านโปรแกรมในแนว แกน XY กำลังขยาย 100X	44
4.6.1 การวัดตำแหน่งการเลื่อน Piezo Stage แบบ Manual 0-20 ไมโครเมตร	45
4.6.2 การวัดตำแหน่งการเลื่อน Piezo Stage แบบ ผ่านโปรแกรม 0-45 V	50
4.6.3 ตารางการเปรียบเทียบ แบบ Manual และ ผ่านโปรแกรม	54
4.6.4 เขียนกราฟระหว่างระยะเลื่อนตำแหน่ง piezo stage แบบผ่านโปรแกรมกับ ค่าแรงดันไฟฟ้า	56
4.7 ผลทดสอบการวัดระยะระหว่างเม็ดปิดกับจุดโฟกัสแสงเลเซอร์	57
4.7.1 วัดระยะในแนวแกน X	57
4.7.2 วัดระยะในแนวแกน Y	57
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	58
5.1 สรุปผลการทดลอง	58
5.2 ข้อเสนอแนะ	58
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงการดำเนินงานวิจัย	3
2.1 แสดงคุณสมบัติของ 3 Axis Flexure Stage	24
4.1 การเปรียบเทียบ แบบ Manual และ ผ่านโปรแกรม	54



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 Optical Tweezers ที่เกิดจากการโฟกัสแสงเลเซอร์ให้เป็นจุดเล็กๆ	4
รูปที่ 2.2 อธิบายต้นกำเนิดของแรง Gradient force	6
รูปที่ 2.3 แสดงแรงจากแสงดึงอนุภาคเข้าหาจุดโฟกัส	7
รูปที่ 2.4 การสร้างอุปกรณ์คีมจับเชิงแสงแบบจําอนุภาคหลายตัว	8
รูปที่ 2.5 อุปกรณ์ทดลองคีมจับเชิงแสงแบบออปติคส์ในอากาศ	9
รูปที่ 2.6 การบังคับตำแหน่งของคีมจับเชิงแสงโดยการเปลี่ยนทิศทางของแสงที่เข้าสู่ช่องด้านหลังของเลนส์วัตถุ	10
รูปที่ 2.7 การประยุกต์ใช้คีมจับเชิงแสงในเซลล์สิ่งมีชีวิต	11
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการศึกษาอาร์เอ็นเอ พอลิเมอเรส การตรึง RNAP ไว้กับเม็ดปิดโพลิสไตลีน เมื่อ RNAP คัดลอกรหัสพันธุกรรมจะดึงเม็ดแก้วทั้งสองเข้าหากัน	12
รูปที่ 2.9 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมควบคุมตำแหน่งกับดักจับอนุภาค	13
รูปที่ 2.10 แสดงหน้าต่างเริ่มต้นของโปรแกรม LabVIEW2013	15
รูปที่ 2.11 Front Panel และ Block Diagram ของ LabVIEW	15
รูปที่ 2.12 Controls Palette ที่ใช้ในการออกแบบ Front Panel	16
รูปที่ 2.13 แสดง Tools Palette	16
รูปที่ 2.14 แสดงทุลบาร์ในหน้าต่าง Front Panel	17
รูปที่ 2.15 แสดง Block Diagram ของโปรแกรมเพื่อควบคุม Piezo Stage ในตำแหน่ง xyz โดยการปรับค่าแรงดันไฟฟ้า	18
รูปที่ 2.16 Controls Palette ที่ใช้ในการออกแบบ Block Diagram	18
รูปที่ 2.17 แสดงทุลบาร์ในหน้าต่าง Block Diagram	19
รูปที่ 2.18 Icon และ Connector	19
รูปที่ 2.19 การทำงานของไพโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์	20
รูปที่ 2.20 การทำงานของไพโซอิเล็กทริกแอกชูเอเตอร์	22
รูปที่ 2.21 ลักษณะการทำงานของ Longitudinal mode ของไพโซอิเล็กทริกเซรามิก	20
รูปที่ 2.22 ลักษณะการทำงานของ Transverse mode ของไพโซอิเล็กทริกเซรามิก	22
รูปที่ 2.23 คุณสมบัติทางไฟฟ้าและทางกลของไพโซอิเล็กทริกเซรามิก	23
รูปที่ 2.24 ลักษณะการยึดหดของวัตถุที่เป็นสารไพโซอิเล็กทริกเซรามิก	23
รูปที่ 2.25 แสดงถึง NanoMax TS 3 Axis Flexure Stage	24
รูปที่ 2.26 แสดงถึง SMC connector ทางเชื่อมต่อกับแรงดันไฟฟ้า	25
รูปที่ 2.27 แสดงถึง Reading micrometer drives	25
รูปที่ 2.28 แสดงถึง Platform orientation	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.1 แสดงปลั๊กของ Serail Port ใน LabVIEW	26
รูปที่ 3.2 แผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรม LabVIEW	27
รูปที่ 3.3 แสดงในส่วนการเขียน Visa Configure Port	28
รูปที่ 3.4 แสดง Block Diagram ของโปรแกรมควบคุมตำแหน่ง Piezo Stage ผ่าน 3 AXIS PIEZO CONTROLLER	28
รูปที่ 3.5 ภาพถ่ายแสดงอนุภาคตัวอย่างที่ปิดด้วย coverslip	29
รูปที่ 3.6 แผนภาพการเตรียมอนุภาคตัวอย่างที่ สร้างจากสไลด์ของกล้องจุลทรรศน์	29
รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการสร้าง slip แบบมี input กับ output	29
รูปที่ 3.8 การออกแบบการสร้างอุปกรณ์คีมจับเชิงแสง	30
รูปที่ 3.9 แสดงแหล่งกำเนิดของแสงเลเซอร์	30
รูปที่ 3.10 แสดงภาพ Beam Splitter	31
รูปที่ 3.11 แสดงภาพเครื่อง 3 AXIS PIEZO CONTROLLER	31
รูปที่ 3.12 แสดงภาพ สาย USB RS232 Serial Port	31
รูปที่ 3.13 แสดงภาพอุปกรณ์ Piezo Stage	32
รูปที่ 3.14 แสดง Objective lens แบบหัวจุ่มน้ำมัน	32
รูปที่ 3.15 แสดงกล้องจุลทรรศน์แบบส่องขึ้น(Inverted Microscope)	33
รูปที่ 4.1 แสดง Block Diagram ของโปรแกรมควบคุมตำแหน่ง Piezo Stage ผ่าน 3 AXIS PIEZO CONTROLLER	34
รูปที่ 4.2 แสดงผลการ RUN โปรแกรม ของเครื่อง 3 AXIS PIEZO CONTROLLER ถึง 20 Volt 35	35
รูปที่ 4.3 แสดงการจักระบบ LabVIEW และ 3 AXIS PIEZO CONTROLLER และแสดงภาพ ด้านหลัง เครื่อง 3 AXIS PIEZO CONTROLLER ต่อ RS232 เข้ากับ CPU เพื่อเชื่อมต่อ กับLab View และ สาย BNC 3 AXIS ต่อเข้ากับ Piezo Stage	35
รูปที่ 4.4 แสดงภาพการใช้ Lens ขนาด 40X กับ อุปกรณ์ Piezo Stage	36
รูปที่ 4.5 แสดงการวาง Piezo Stage เข้ากับกล้องจุลทรรศน์	36
รูปที่ 4.6 แสดงภาพการเลื่อนตำแหน่ง แกน X ของ Silica Beads โดย Piezo Stage ผ่านโปรแกรม ตั้งแต่ 0V-45V	38
รูปที่ 4.7 แสดงภาพการเลื่อนตำแหน่ง แกน Y ของ Silica Beads โดย Piezo Stage ผ่านโปรแกรม ตั้งแต่ 0V-45V	40
รูปที่ 4.8 แสดงภาพ การจักระบบ Optical Tweezers อย่างง่าย	41
รูปที่ 4.9 แสดงภาพ การปรับระจกเพื่อบังคับการเคลื่อนของแสงเลเซอร์	41
รูปที่ 4.10 แสดงภาพการวัดความสูงของลำแสงเลเซอร์ให้ได้ยังเท่ากับความสูงที่จุดกึ่งกลาง ของ Beam Splitter	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.11 แสดงภาพการจัดวาง Beam Splitter	42
รูปที่ 4.12 แสดงภาพการวาง Piezo Stage กับ objective lens	42
รูปที่ 4.13 แสดงภาพการวาง objective lens 100X ในขณะที่หัวจุ่มน้ำมัน	43
รูปที่ 4.14 แสดงภาพ กล้อง Webcam สังเกตการเลื่อนตำแหน่ง	43
รูปที่ 4.15 แสดงภาพ Ocular Micrometer	44
รูปที่ 4.16 แสดงภาพ สเกลที่กำลังขยาย 10X	44
รูปที่ 4.17 แสดงภาพ การปรับไมโครมิเตอร์ของ Piezo Stage ซึ่งมี สเกลหลัก 4 mm สเกลไมโครมิเตอร์ 50 ช่อง ช่องละ 1 ไมโครเมตร	44
รูปที่ 4.18 แสดงภาพ การใช้ เม็ดบีดวัดขนาดช่อง Ocular Micrometer ในแนวแกน X	45
รูปที่ 4.19 แสดงภาพ การใช้ เม็ดบีดวัดขนาดช่อง Ocular Micrometer ในแนวแกน Y	47
รูปที่ 4.20 แสดงภาพการเลื่อนตำแหน่งในแนวแกน X ของ Silica Beads แบบโปรแกรมขณะปิดเลเซอร์	51
รูปที่ 4.21 แสดงภาพการเลื่อนตำแหน่งในแนวแกน Y ของ Silica Beads แบบโปรแกรม ขณะปิดเลเซอร์	53
รูปที่ 4.22 แสดงการเขียนกราฟการเลื่อนตำแหน่ง Piezo Stage แบบผ่านโปรแกรมโดยการป้อน แรงดันไฟฟ้า ตั้งแต่ 0-50 V ในแนวแกน X	56
รูปที่ 4.23 แสดงการเขียนกราฟการเลื่อนตำแหน่ง Piezo Stage แบบผ่านโปรแกรมโดยการป้อน แรงดันไฟฟ้า ตั้งแต่ 0-50 V ในแนวแกน Y	56
รูปที่ 4.24 แสดงภาพ วัดระยะในแนวแกน X	57
รูปที่ 4.25 แสดงภาพวัดระยะในแนวแกน Y	57

คำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
LabVIEW	Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench
N.A.	Numerical aperture
PBSC	Polarizing Beam Splitter
GMM	Galvanometer Mirror
AOM	Acousto-Optic Modulator
AOD	Acousto-optic deflector
HOT	Holographic Optical Tweezers
SLM	Spatial Light Modulator
DM	Dichroic Mirror
QPD	Quadrant Photo Detector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

การศึกษาเกี่ยวกับแสงโดยทั่วไปจะเน้นเกี่ยวกับการศึกษาทางด้านแสงเลเซอร์ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในด้านอุตสาหกรรม ทางด้านการแพทย์ การสื่อสารโทรคมนาคม ด้านการสร้างภาพสามมิติ เป็นต้น สิ่งที่กำลังก้าวข้ามขั้นตอนนี้สามารถอธิบายได้จากคุณสมบัติของแสง คือ การหักเหของแสง การสะท้อนของแสง การเลี้ยวเบนของแสง และการแทรกสอดของแสง จนกระทั่งมีการพัฒนาทางวิทยาการและเทคโนโลยีต่างๆ ที่เกี่ยวกับแสงโดยนำความรู้พื้นฐานทางด้านวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา คณิตศาสตร์ หรือศาสตร์อื่นๆ ซึ่งส่งผลให้มีการศึกษาเกี่ยวกับระบบที่มีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ ในระดับไมโครเมตร จนถึงระดับ นาโนเมตร อาทิเช่น การศึกษาทางด้าน โคนเซนซิน ดีเอ็นเอ เซลล์มะเร็ง คอลล์ลอยด์ เชื้อไวรัส เป็นต้น การศึกษาระบบที่เกี่ยวข้องกับอนุภาคขนาดเล็กนี้ต้องใช้อุปกรณ์ที่มีความสามารถสูงเพื่อใช้ในการศึกษา โดยหลักการที่นำมาศึกษาเกี่ยวกับสิ่งที่เล็กมากๆ หรือระบบที่เล็กมากๆ คือ การใช้แสงในการจับอะตอมหรืออนุภาคที่เรียกว่า คีมจับเชิงแสง (Optical Tweezers) เป็นการนำหลักการของแรงจากแสงในการตรวจจับอนุภาค แสงสามารถจับอนุภาคได้เนื่องจากอาศัยการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม ซึ่งโมเมนตัมที่เปลี่ยนแปลงไปจะขึ้นอยู่กับอนุภาคที่ต้องการศึกษา คุณสมบัติของแสง และกำลังของแสงในการจับอนุภาค แรงที่เกิดจากแสงนี้จะเกิดขึ้นเมื่อมีการโฟกัสลำแสงลงไปใกล้ๆ กับอนุภาคที่เราต้องการตรวจจับ ที่มีความโปร่งใสระดับหนึ่ง เพื่อให้แสงสามารถหักเหเข้าไปภายในและสะท้อนที่พื้นผิวได้ แรงที่เกิดจากการใช้ลำแสงเลเซอร์ (Laser Beam) ในการตรวจจับอนุภาคนั้นทำให้เกิดแรงขึ้นมามี 2 แบบ คือ แบบแรกเป็นแรงกระเจิง (Scattering force) เป็นแรงที่มีทิศทางขนานกับทิศทางของแสงตกกระทบ ส่วนแรงอีกชนิดหนึ่งเรียกว่า แรงเกรเดียนท์ (Gradient force) ซึ่งมีทิศทางตั้งฉากกับทิศทางของแสงตกกระทบและพุ่งเข้าสู่บริเวณที่มีกำลังของแสงสูงสุดเนื่องจากแสงเลเซอร์ส่วนใหญ่จะมีกำลังของแสงสูงสุดที่บริเวณกลางลำแสงและค่อยๆ ลดลงออกมาตามแนวรัศมี

การจากศึกษาทางวิจัยที่ได้มีการพัฒนากันมาอย่างต่อเนื่องโดยระบบของคีมจับเชิงแสงยังคงมีการใช้กล้องจุลทรรศน์ และ แทนเลื่อนของกล้องจุลทรรศน์ ในการปรับโฟกัสภาพ ซึ่งในงานวิจัยนี้จึงศึกษาเกี่ยวกับการใช้ Piezo Stage แทนการใช้แท่นเลื่อนของกล้องจุลทรรศน์เพื่อให้ได้ความละเอียดในระดับไมโครเมตรโดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในการควบคุม Piezo Stage โดยอาศัยหลักการของ Piezoelectric Actuators ที่มีลักษณะการยืดหรือหดได้เมื่อมีการป้อนแรงดันไฟฟ้า โดยในที่นี้จะทำการป้อนแรงดันไฟฟ้าไปยัง 3 Axis Piezo Controller โดยโปรแกรม LabVIEW ผ่านการเชื่อมต่อแบบอนุกรม Serial Port และส่งไปยัง Piezo Stage ส่งผลให้เกิดการเลื่อนในระยะที่ละเอียดและสามารถลดความคลาดเคลื่อนลงได้ จากงานวิจัยนี้ยังแสดงการติดตั้งระบบคีมจับเชิงแสงอย่างง่ายโดยการใช้ Piezo Stage ร่วมกับระบบเพื่อสังเกตการเคลื่อนตัวของอนุภาคเมื่อ Piezo Stage มีการป้อนแรงดัน รวมไปถึงการพัฒนาาระบบคีมจับเชิงแสงให้มีการควบคุมระยะการเลื่อนของ Piezo Stage ตลอดจนถึงสถานะที่สามารถดักจับอนุภาคได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาหลักการพื้นฐานพื้นฐานการเขียนโปรแกรม LabVIEW ในป้อนแรงดันไฟฟ้าเพื่อควบคุมทิศทางการเลื่อนของ Piezo Stage
- 2) ศึกษาระบบการทำงานของ Piezo Stage
- 3) ศึกษาเกี่ยวกับระบบคีมจับเชิงแสง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นเกี่ยวกับการศึกษาการควบคุมการเลื่อนของ Piezo Stage โดยเขียนโปรแกรม LabVIEW ในระบบของการป้อนแรงดัน พร้อมทั้งวัดระยะการเลื่อนในระดับไมโครเมตรในเชิงการเปรียบเทียบกับ การปรับไมโครมิเตอร์ พร้อมทั้งออกแบบอุปกรณ์คีมจับเชิงแสงอย่างง่ายเพื่อสังเกตการเคลื่อนตัวของอนุภาค

1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีดำเนินงาน

- 1) ขั้นตอนการดำเนินงาน
 - 1.1) ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับหลักการทำงานของคีมจับเชิงแสงและการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองรวมทั้งโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมผลการทดลอง
 - 1.2) วางแผนการติดตั้งอุปกรณ์ของคีมจับเชิงแสง และสรุปทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการทดลอง
 - 1.3) ทำการวัดระยะเลื่อน Piezo Stage เพื่อเทียบกับการปรับไมโครมิเตอร์
 - 1.4) สรุปผลการทดลองต่างๆและนำเสนอผลการทดลอง

2) ตารางการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แสดงการดำเนินงานวิจัยทำโครงการพิเศษ

ระยะเวลาการดำเนินงาน	กิจกรรม
สิงหาคม 2558	ศึกษาที่มาและความสำคัญ
กันยายน-ตุลาคม 2558	ศึกษาทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง
พฤศจิกายน-ธันวาคม 2558	วางแผนและออกแบบวิธีการดำเนินงานวิจัย
ธันวาคม 2558	ดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์และศึกษาการทำงาน
มกราคม-มีนาคม 2559	ทำการศึกษาทดลอง
เมษายน-พฤษภาคม 2559	แก้ไขและสรุปผลการทดลอง
พฤษภาคม 2559	นำเสนองานวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบถึงหลักการของ Piezo Stage โดยการป้อนแรงดันและระบบคีมจับเชิงแสง (Optical Tweezers) ที่ใช้หลักการของแสงและคุณสมบัติของแสงในการจับอนุภาคที่มีขนาดไมโครเมตรและพัฒนาระบบคีมจับเชิงแสงให้มีการควบคุมระยะการเลื่อนของ Piezo Stage ตลอดจนถึงสถานะที่สามารถดักจับอนุภาคได้เพื่อการประยุกต์ใช้ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่อไป

บทที่ 2

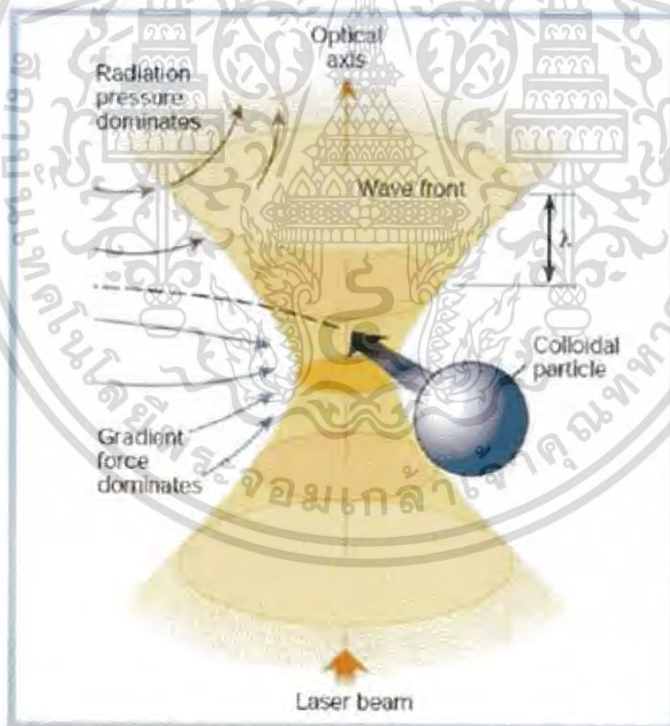
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึงหลักการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยโดยอธิบายนิยามเบื้องต้นของระบบคีมจับเชิงแสงโดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในการควบคุม Piezo Stage รวมถึงเครื่องมือที่ใช้ในการติดตั้งระบบคีมจับเชิงแสงอย่างง่ายอีกด้วย

2.1 คีมจับเชิงแสง(Optical Tweezers)

2.2.1 คีมจับเชิงแสง(Optical Tweezers) คืออะไร

Optical Tweezers เป็นเทคนิคที่ใช้แสงเลเซอร์เป็นตัวดักจับ(Trap) อนุภาคขนาดเล็ก ถูกประดิษฐ์ขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ.1986 โดย Dr. Arthur Ashkin กับ Dr. Steven Chu และทีมงาน [1,2] ความสำคัญของการโฟกัสแสงเลเซอร์โดยเลนส์วัตถุของกล้องจุลทรรศน์ (Microscope objective) ลงมาที่อนุภาคขนาดเล็ก ซึ่งอนุภาคจะถูกกักไว้ที่จุดโฟกัสของเลเซอร์ เงื่อนไขโดยทั่วไปของการดักจับอนุภาคด้วยเลเซอร์คืออนุภาคจะต้องโปร่งใสและดัชนีหักเหมากกว่าตัวกลางรอบๆอนุภาค



รูปที่ 2.1 Optical Tweezers ที่เกิดจากการโฟกัสแสงเลเซอร์ให้เป็นจุดเล็กๆ เพื่อดักจับวัตถุขนาดเล็ก ซึ่งหัวใจสำคัญของการจับอนุภาคด้วยแสงก็คือการใช้เลนส์รวมแสงที่มีค่า Numerical aperture สูงเพื่อให้เกิดความแตกต่างของความเข้มชั้นแสงที่มากส่งผลให้แรง Gradient force มากกว่าแรง Scattering force จึงสามารถจับอนุภาคในสามมิติได้[3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 หลักการทำงานของคีมจับเชิงแสง

ทฤษฎีการทำงานของ Optical Tweezers สามารถแยกพิจารณาได้ สองกรณีคือ

2.2.1 กรณี ขนาดของอนุภาค d น้อยกว่าความยาวคลื่นแสงเลเซอร์

ในกรณีนี้ สนามไฟฟ้าจากแสงเลเซอร์ ที่ผ่านอนุภาค ที่ขณะใดๆ จะถือว่าค่อนข้างสม่ำเสมอ และมีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ เพียงพอที่ ประจุในอนุภาคจะเคลื่อนที่ตามการเปลี่ยนแปลงได้ทัน และสามารถให้ทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า เกี่ยวกับการเหนี่ยวนำประจุ และพลังงานสะสมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในฉนวน (Dielectrics) มาคำนวณหาแรงได้ กล่าวคือ เมื่ออนุภาค Dielectric อยู่ในสนามไฟฟ้า E จะเกิดการเหนี่ยวนำไดโพลไฟฟ้าขึ้น มีผลทำให้เกิดสนามไฟฟ้าเหนี่ยวนำ E_n ในทิศทาง สนามไฟฟ้าเดิม มีผลทำให้ขนาดไฟฟ้าลัพธ์ $E_f = E - E_n$ มีค่าลดลง

ดังนั้นพลังงานสะสมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า $U \sim E^2$ ใน Dielectric จึงมีค่าลดลง เทียบกับตอนไม่มี Dielectric ทำให้อนุภาคมุ่งเข้าสู่จุดโฟกัสของแสงเลเซอร์ เพราะเป็นจุดที่สนามไฟฟ้าจากแสงเลเซอร์มีค่าสูงสุด เพื่อที่ระบบจะได้มีพลังงานต่ำลงนั่นเอง

แรงในการดักจับอนุภาคด้วยแสงเลเซอร์สามารถคำนวณได้จาก

$$F = -\nabla U$$

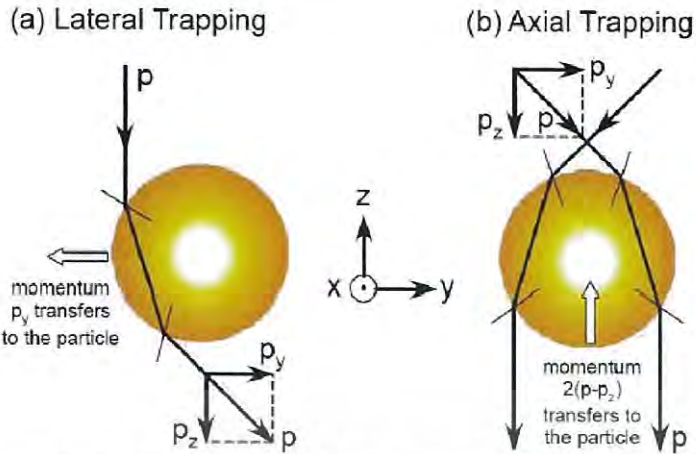
ซึ่งเรียกแรงในลักษณะนี้ว่า Gradient force ซึ่งเกิดจากผลต่างของความเข้มกับความสามารถในการควบคุมแสงให้โฟกัสมาเป็นจุดที่เล็กที่สุดเพื่อให้เกิดผลต่างของความเข้มข้นแสงที่มากที่สุด

นอกจาก Gradient force แล้วยังมีแรง Scattering force ที่เกิดจากการดูดกลืนรังสีหรือ กาสะท้อนที่ผิวของอนุภาค โดยแรงนี้จะดันให้อนุภาคเคลื่อนที่ไปตามทิศทางเดินของแสงเลเซอร์ หรือ optical axis(รูปที่1)

ถ้า Gradient force ที่เกิดขึ้นมีขนาดน้อยกว่าแรง Scattering force ก็จะทำให้อนุภาคหลุดออกมาจากจุดโฟกัส ดังนั้นการจับอนุภาคด้วยแสงเลเซอร์จึงต้องใช้เลนส์วัตถุที่มีค่า Numerical aperture (N.A.) สูง เช่น เลนส์วัตถุแบบ Oil-immersion เป็นต้นเพื่อให้ได้ค่า Gradient force ที่สูงสามารถเอาชนะแรง Scattering force ได้

2.2.2 กรณี ขนาดของอนุภาค d มากกว่าความยาวคลื่นแสงเลเซอร์

ในกรณีสนามไฟฟ้าจากแสงเลเซอร์ที่ผ่านอนุภาค ที่ขณะใดๆจะไม่สม่ำเสมอ และมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ทำให้ไม่สามารถใช้ทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า ที่กล่าวมาข้างต้นในการอธิบายแรง Gradient force ได้ ดังนั้นจึงต้องมองแสงให้เป็นอนุภาคหรือโฟตอนที่มีการหักเหผ่านผิวอนุภาคตามกฎของสเนลล์ (Snell's law) และมีการถ่ายเทโมเมนตัมระหว่างแสง และอนุภาคตามกฎอนุรักษ์โมเมนตัม ดังรูปที่ 2.2 โดยขนาดของโมเมนตัมที่เปลี่ยนไปต่อหน่วยเวลาของโฟตอนจะเท่ากับขนาดของแรง Gradient force ที่อนุภาคได้รับ[4,5]



รูปที่ 2.2 อธิบายต้นกำเนิดของแรง Gradient force ในแนว (a) ตั้งฉากกับแนวเลเซอร์ และ (b) ขนานกับแนวเลเซอร์ โดยใช้ Ray optics และการถ่ายเทโมเมนตัมระหว่างโฟตอนกับอนุภาคเมื่อพิจารณาโมเมนตัมของแสงเลเซอร์ที่เปลี่ยนไปตั้งรูปที่ 2.2 หลังจากหักเหผ่านอนุภาคจะเคลื่อนที่เข้าหาจุดศูนย์กลางของแสงเลเซอร์เสมอ ดังนี้ พิจารณาแนวแสงเลเซอร์แนวหนึ่งซึ่งฉายผ่านอนุภาคทรงกลมแขวนลอยอยู่ในน้ำดังรูปที่ 2.2(a) ถ้าอนุภาคนี้มีดัชนีหักเหมากกว่ามากว่าดัชนีหักเหของน้ำ มันจะประพฤติตัวเป็นเลนส์นูนและหักเหแสงให้เบนไปในทิศทางเข้าหาจุดศูนย์กลางของอนุภาค ถ้าพิจารณาแสงให้เป็นอนุภาคโฟตอนซึ่งแต่ละโฟตอนมีโมเมนตัม[6]

$$\mathcal{P} = \frac{h}{\lambda}$$

โดยที่ \mathcal{P} คือ โมเมนตัมของแสง

h คือ ค่าคงที่ของพลังค์

λ คือ ความยาวคลื่นของแสง

จะพบว่าโฟตอนที่ผ่านอนุภาคออกมาจะมีทิศทางเปลี่ยนไปแต่มีขนาดของโมเมนตัมเป็น \mathcal{P} เท่าเดิม เนื่องจากความยาวคลื่นเท่าเดิม แต่ถ้าพิจารณาเฉพาะโมเมนตัมในแนวแกน y พบว่าเปลี่ยนไปเท่ากับ \mathcal{P}_y ซึ่งจะมีผลทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ไปในทิศ $-y$ ด้วยโมเมนตัม $-\mathcal{P}_y$ เพื่อที่จะอนุรักษ์โมเมนตัมในแนวแกน y ของระบบ โดยที่อนุภาคจะหยุดเคลื่อนที่ก็ต่อเมื่อมันอยู่ตรงกลางแนวเลเซอร์พอดี เนื่องจากเป็นจุดที่แสงไม่มีการหักเห ในความเป็นจริงแสงเลเซอร์ที่พุ่งเข้าหาอนุภาคที่จุดโฟกัสของ Microscope objective นั้นมีมากกว่าหนึ่งแนว จึงต้องมีการรวมผลจากจากโฟตอนทุกแนวแสง ซึ่งผลที่ได้ก็จะเหมือนเดิมคืออนุภาคจะถูกแรงทางแสงกระทำในทิศตั้งฉากกับแนวเลเซอร์ทำให้เคลื่อนที่เข้าหาแนวของศูนย์กลางของเลเซอร์ ในทำนองเดียวกันจะมีแรงในทิศขนานกับแนวเลเซอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.2(b) อนุภาคจึงถูกดักจับในสามมิติ ส่วนโมเมนตัมที่เปลี่ยนไปของโฟตอนที่ถูกดูดกลืนหรือสะท้อนที่ผิวของอนุภาค ก็เป็นสาเหตุให้เกิดแรง Scattering force[6]

อนุภาคที่ถูกดักจับโดยแสงเลเซอร์ จะบอบช้ำน้อยมากหรือไม่บอบช้ำเลย ถ้าเป็นตัวอย่างทางชีวภาพ เช่น เซลล์เม็ดเลือดแดง เซลล์จุลินทรีย์ ก็จะถูกจับไว้เพื่อทำการทดลองต่างๆได้ในขณะที่มีชีวิต ทั้งนี้เนื่องจากแสงส่วนใหญ่จะส่งผ่านตัวอย่างชีวภาพเหล่านี้เกือบทั้งหมด อีกทั้งการเลือกใช้แสงในย่านความยาวคลื่นที่เหมาะสม เช่น ใช้แสง Infrared ก็จะช่วยลดย่านความร้อนที่เกิดจากการดูดกลืนแสง ของของเหลวในเซลล์ได้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การใช้คีมจับเชิงแสงในการวัดแรง

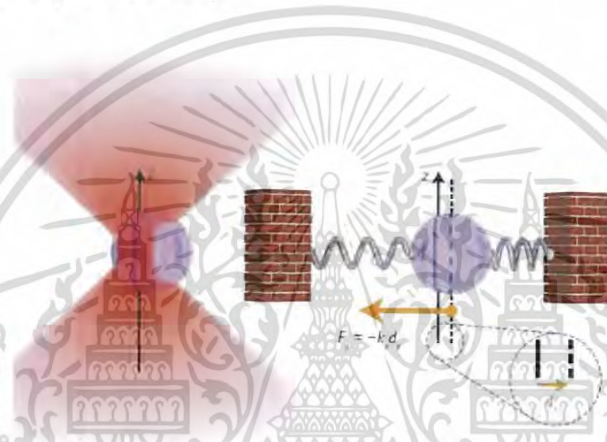
คีมจับเชิงแสงใช้เป็นเครื่องมือในการวัดแรงในระดับตั้งแต่ 0.1 พิโคนิวตัน ถึง หลายร้อยพิโคนิวตัน โดยสามารถวัดแรงได้สูงสุดหลายร้อยพิโคนิวตัน และให้ความละเอียดของสเกลต่ำกว่า 1 พิโคนิวตัน ซึ่งมีประโยชน์ในการศึกษาแรงจากชีวโมเลกุล เซลล์ และ อนุภาคสารแขวนลอย

เมื่ออนุภาคอยู่ที่ตรงบริเวณคีมจับเชิงแสงจะถูกแรงจากแสงดึงเข้าหาจุดโฟกัสคีมจับเชิงแสงจึงเปรียบเสมือนสปริงสามมิติที่มีจุดโฟกัสเป็นจุดสมดุลทำให้เกิดแรงดึงกลับของสปริง แต่ในคีมจับเชิงแสงเรียกว่า แรงดึงกลับเนื่องจากแสง

$$F = -kd$$

โดยที่ k คือ Trap Stiffness

d คือ ระยะจากจุดกึ่งกลาง Trap



รูปที่ 2.3 แสดงแรงจากแสงดึงอนุภาคเข้าหาจุดโฟกัส

ระยะห่างจากจุดกึ่งกลาง trap ความสัมพันธ์ระหว่างแรง และระยะห่างจากจุดโฟกัสเป็นแบบเชิงเส้นเพียงระยะสั้นๆ เท่านั้น (ประมาณไม่เกิน 100 nm จากจุดโฟกัส) โดยทั่วไปแล้วคีมจับเชิงแสงจะมีค่าความหนืดตั้งแต่ 0.01-1 pN/nm การวัดแรงทำได้โดยผูกอนุภาคที่จะวัดแรงไว้กับเม็ดแก้วแล้วดักเม็ดแก้วด้วยคีมจับเชิงแสง เมื่อมีแรงดึงที่อนุภาค เม็ดแก้วจะเคลื่อนไปอยู่จุดที่แรงดึงสมดุลกับแรงของคีมจับ เราก็สามารถหาแรงได้จากระยะที่เม็ดแก้วเคลื่อนที่ไป ในบางการทดลองมีกลไกย้อนกลับ (feedback) เพื่อเคลื่อนคีมจับเชิงแสงตามอนุภาคไปเพื่อให้ได้ระยะที่แรงกับระยะทางมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นทำให้สามารถวัดแรงได้อย่างต่อเนื่อง

การคำนวณแรงในการดักจับอนุภาค ได้ดังสมการ

$$F_{trap} = \frac{nQp}{C}$$

โดยที่ F_{trap} คือ แรงในการดักจับอนุภาค

n คือ ดัชนีหักเหของตัวกลาง

Q คือ ประสิทธิภาพในการวางกับดักแสง

p คือ กำลังแสงเลเซอร์

C คือ ความเร็วของแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กฎของสโตกส์ (Stokes' law) เป็นสมการที่กล่าวถึงแรงต้าน ซึ่งกระทำกับวัตถุที่เคลื่อนที่ผ่านของไหลที่มีความหนืดทำให้เราสามารถคำนวณหาสัมประสิทธิ์ความหนืดได้จากสมการดังนี้

$$F_{drag} = 6\pi\eta av$$

โดยที่ F_{drag} คือ แรงหนืดที่ของเหลวกระทำกับวัตถุ

η คือ สัมประสิทธิ์ความหนืดของของไหล

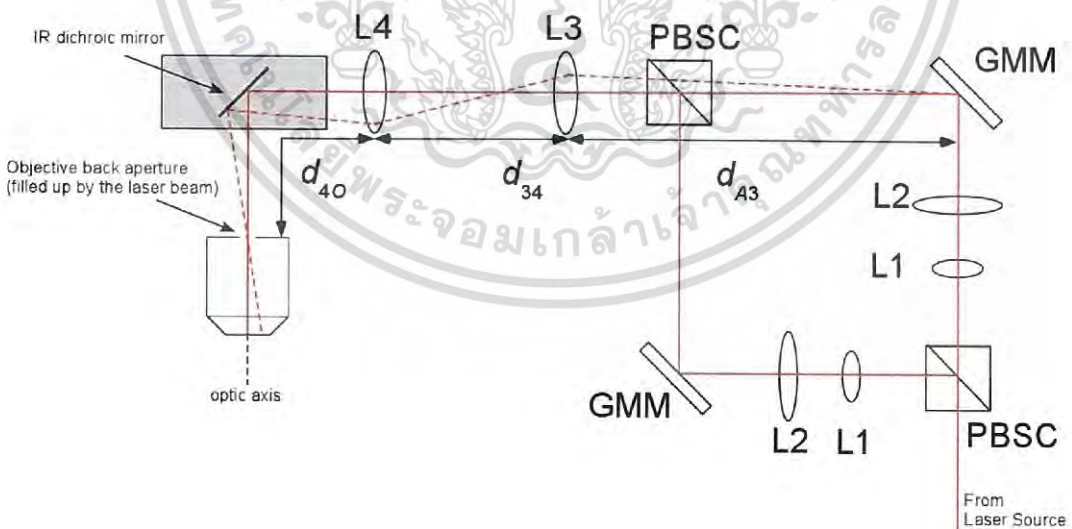
a คือ รัศมีของอนุภาค

v คือ ความเร็วท้ายของวัตถุ

การหาค่าความหนืดสัมบูรณ์แต่ละอัน (Force Calibration) โดยวิธีวัดแรง และระยะทาง เช่นเดียวกับสปริงกลั่นั้นทำได้ยากเพราะมีปัจจัยอื่นๆ มาประกอบด้วยเช่น แรงต้านจากของเหลว และการเคลื่อนที่แบบ บราวเนียน เราสามารถหาค่าความหนืดได้ง่ายกว่าโดยวิธีการ Power Spectrum คือวัดกำลังของการสั่นของอนุภาคในคีมจับแล้วแก้สมการในอาณาจักรความถี่แทน (Fourier Domain)

2.4 คีมจับเชิงแสงสำหรับจับอนุภาคหลายตัว

การดักจับอนุภาคสองตัวพร้อมกันโดยใช้ลำแสงเลเซอร์สองลำ ฉายเข้าไปในเลนส์วัตถุ หรือ อาจจะใช้แสงเลเซอร์ลำเดียวแต่ใช้ Beam Splitter ในการแยกเลเซอร์ออกเป็นสองลำแล้วเกิดการส่องผ่านเข้าไปในเลนส์วัตถุอันเดียวกันซึ่งทำหน้าที่โฟกัสแสงไปยังตำแหน่งที่ต้องการมของแต่ละลำแสงเลเซอร์ทำกับ Optic axis เมื่อผ่านช่องเปิดด้านหลังของเลนส์วัตถุสามารถควบคุมได้โดยการปรับเอียงกระจก GMM ทำให้สามารถเคลื่อนย้ายตำแหน่งโฟกัสทั้งสองของแสงเลเซอร์ไปยังอนุภาค และยังสามารถเคลื่อนย้ายอนุภาคไปยังที่ต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การสร้างอุปกรณ์คีมจับเชิงแสงแบบจําอนุภาคหลายตัวโดยการใช้ Polarizing Beam Splitter แยกลำแสงเลเซอร์เป็นสองลำ[7]

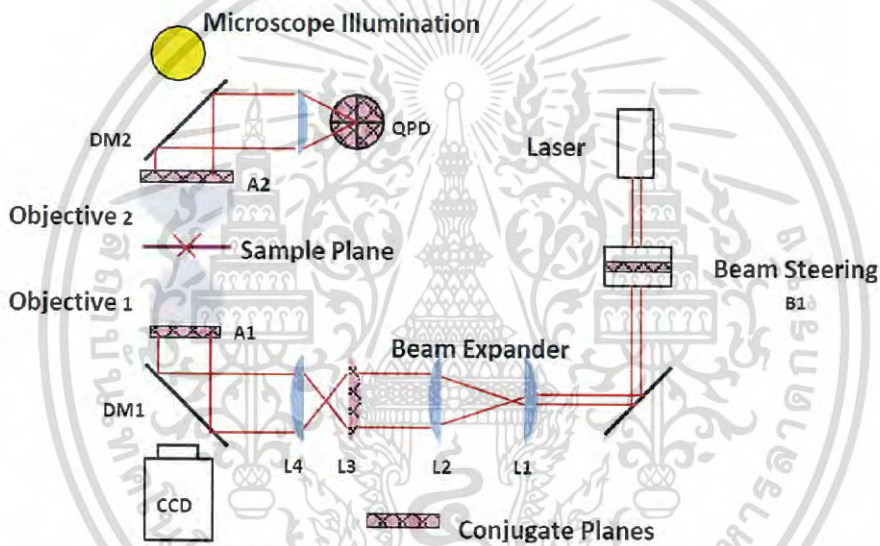
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 คีมจับเชิงแสงแบบออปติคส์ในอากาศ (Free space optical tweezers)

หลักการสำคัญของคีมจับเชิงแสงแบบออปติคส์ในอากาศนี้คือ การโฟกัสลำแสงเลเซอร์ลง บนระนาบตัวอย่างโดยเลนส์วัตถุของกล้องจุลทรรศน์ รูปที่ 2.5 แสดงผังอุปกรณ์ทดลองของคีมจับเชิงแสงแบบออปติคส์ในอากาศที่ใช้กันทั่วไป สำหรับรายละเอียดของอุปกรณ์ต่างๆของคีมจับเชิงแสงในแต่ละการทดลองอาจแตกต่างกันขึ้นอยู่กับอนุภาคที่จะจับและการประยุกต์ใช้งาน แต่อุปกรณ์สำคัญๆมี ดังนี้

2.5.1 เลเซอร์สำหรับจับอนุภาค

เลเซอร์ที่ใช้ควรมีโหมด TEM 00 มีกำลังตั้งแต่ 10 มิลลิวัตต์จนถึงหลายวัตต์ ความหนืดของคีมจับจะขึ้นอยู่กับกำลังของเลเซอร์ที่ใช้ โดยทั่วไปแล้วจะได้ความหนืด 0.15 pN/nm ต่อกำลังเลเซอร์ 1 W ที่ระนาบตัวอย่าง ความยาวคลื่นของเลเซอร์ที่ใช้ขึ้นอยู่กับปัจจัยการดูดกลืนแสงของเลนส์ตัวอย่าง และตัวกลาง



รูปที่ 2.5 อุปกรณ์ทดลองคีมจับเชิงแสงแบบออปติคส์ในอากาศ[8]

2.5.2 เลนส์วัตถุกล้องจุลทรรศน์

เลนส์วัตถุที่ใช้จะต้องมีค่า Numerical Aperture สูงๆ (ประมาณ 1.0-1.4) กล่าวคือมีปากช่องรับแสงกว้าง การใช้ Oil immersion objective หรือ Oil immersion Lens ต้องจุ่มลงในน้ำมัน (Oil) ซึ่งหยดบนอนุภาคตัวอย่างจึงจะเห็นเป็นภาพที่ส่องอย่างชัดเจน ดัชนีหักเหของแสง (Refractive index) ของน้ำมันมีค่าเท่ากับแก้วของสไลด์คือ 1.52 ถ้าไม่ใช้น้ำมันกับเลนส์ Oil immersion แสงที่ผ่านสไลด์และวัตถุขึ้นมาแล้วผ่านอากาศออกไปเพราะมีดัชนีหักเหของแสงต่างกันทำให้แสงผ่านไปยังเลนส์น้อยลงแต่เมื่อใช้น้ำมันที่มีดัชนีหักเหของแสงเท่ากับเลนส์แก้วที่ทำสไลด์ แสงจะผ่านน้ำมันขึ้นไปยัง objective Lens ได้เลย ทำให้มีพื้นที่รับปริมาณแสงได้มาก ทำให้มีแรงเกรเดียนท์มาก นอกจากนี้ยังลดผลจากการเบี่ยงเบน (diffraction) ทำให้จุดโฟกัสมีขนาดเล็กลงอีกด้วย

2.5.3 อุปกรณ์บังคับตำแหน่งคีมจับเชิงแสง

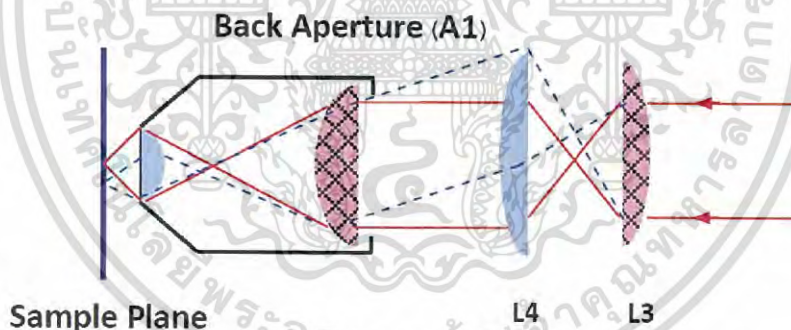
ในการศึกษาอนุภาคด้วยคีมจับเชิงแสง เมื่อใช้คีมจับเชิงแสงจับอนุภาคแล้ว เราจำเป็นต้องเคลื่อนย้ายอนุภาคไปมาในทิศทางต่างๆซึ่งทำได้หลายวิธีได้แก่

2.5.3.1 การเลื่อนระนาบตัวอย่าง (Sample Stage Movement)

เป็นการเคลื่อนตัวอย่างทั้งระนาบไป โดยการวางระนาบตัวอย่างบนเครื่อง Piezo Stage ซึ่งควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยไฟฟ้า ขณะที่คีมจับเชิงแสงจับอนุภาคอันหนึ่งอยู่กับที่ วิธีนี้สามารถบังคับทิศทางได้สามมิติและอาจมีข้อจำกัดด้าน ความกว้าง (Bandwidth) และความละเอียด (Resolution) ของเครื่อง Piezo Stage อยู่บ้าง

2.5.3.2 การบังคับทิศทางของลำแสง (Beam Beflection)

ในหลักการแสงเชิงเรขาคณิต (Geometrical Optics) ตำแหน่งโฟกัสของแสงบนระนาบตัวอย่างจะขึ้นอยู่กับทิศทางของลำแสงที่เข้าสู่ช่องด้านหลังของเลนส์วัตถุ (A1) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ดังนั้น ถ้าเราติดตั้งอุปกรณ์โดยให้ระนาบทั้งหมดที่แรงเงากากบาทในรูปที่ 2.4 เป็นระนาบภาพซึ่งกันและกัน (Image Planes หรือ Conjugate Planes) ได้แก่ระนาบ B1, L3, A1, A2 และ QPD เราก็จะสามารถบังคับคีมจับเชิงแสงได้โดยเพียงขยับเลนส์ L3 หรือไม่ก็บังคับทิศทางของลำแสงที่ระนาบ B1 โดยใช้กระจกหรือเครื่องบังคับทิศทางลำแสงแบบอะคูสโตออปติกส์ (Acousto-Optic Modulator) หรือ AOM การใช้ AOM มีข้อดีคือสามารถสร้างคีมจับเชิงแสงได้หลายอันโดยใช้เลนส์วัตถุอันเดียว มีแบนวิดท์ประมาณ 100 kHz แต่มีข้อเสีย คือ มีการสูญเสียกำลังแสงมากและแสงที่สแกนไปตามมุมต่างๆมีกำลังไม่เท่ากัน



รูปที่ 2.6 การบังคับตำแหน่งของคีมจับเชิงแสงโดยการเปลี่ยนทิศทางของแสงที่เข้าสู่ช่องด้านหลังของเลนส์วัตถุโดยการขยับเลนส์ L3[8]

2.5.4 อุปกรณ์บันทึกภาพและตำแหน่งของอนุภาคโดยบันทึกภาพระนาบตัวอย่างโดยตรง

เป็นการใช้กล้องวิดีโอ CCD ดังในรูปที่ 2.5 วิธีนี้ต้องมีการส่องสว่าง (Illumination) จากอีกด้านหนึ่งของกล้อง CCD เพื่อให้แสงเพียงพอ กระจก DM1 และ DM2 จะเป็นกระจกแบบไดโครอิก (Dichroic mirror) คือจะสะท้อนแสงเลเซอร์ที่ใช้ดักอนุภาคและส่งผ่านแสงที่ใช้ในการบันทึกภาพ ความละเอียดของภาพขึ้นอยู่กับจำนวนพิกเซลในกล้อง CCD แล้วจึงถูกจำกัดด้วยความยาวคลื่นแสง ความละเอียดสูงสุดประมาณ 0.2 μm

2.6 การประยุกต์ใช้งานคีมจับเชิงแสง

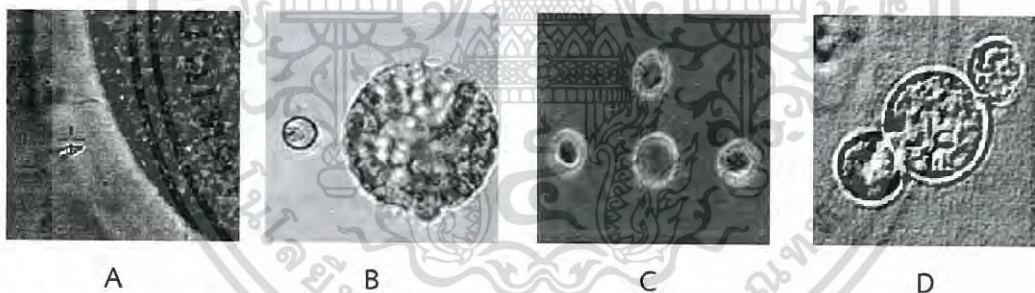
คีมจับเชิงแสงถูกนำไปประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสาขาต่างๆมากมายทั้งใน สาขาชีววิทยา เคมี การแพทย์และอื่นๆ จึงมีความจำเป็นในการศึกษาหากเราสามารถออกแบบระบบการควบคุมอนุภาค โดยใช้ XY Translation Stage และโปรแกรม LabVIEW .ให้สามารถควบคุมการเคลื่อนที่อย่างละเอียด ในระดับไมโครเมตร ตัวอย่างการนำคีมจับเชิงแสงไปประยุกต์ใช้มี ดังนี้

2.6.1 การศึกษาด้านชีววิทยาในระดับเซลล์

ความสามารถของคีมจับเชิงแสงในการจับเซลล์และเคลื่อนย้ายเซลล์ และออกแรงกระทำต่อเซลล์เช่น บิด ยืด ทำให้มีการนำคีมจับเชิงแสงไปใช้ในทางชีววิทยาอย่างมากมาย นอกจากนั้นเรายังสามารถดักจับและออกแรงกระทำต่อส่วนประกอบอื่นๆ ภายในเซลล์เช่น นิวเคลียส คลอโรพลาสต์ อีกด้วย ห้องปฏิบัติการทางชีววิทยาส่วนใหญ่จะมีคีมจับเชิงแสงแบบแบบสำเร็จรูปหรือไม่ก็เป็นแบบประกอบขึ้นเอง คีมจับเชิงแสงที่ใช้ในทางชีววิทยาจะใช้เลเซอร์ในย่านอินฟราเรด 750-1200 nm เพราะ เซลล์และเนื้อเยื่อมีการดูดกลืนต่ำ ทำให้ไม่เกิดความเสียหาย โดยมากจะนิยมใช้เลเซอร์

Nd:YAG ที่ความยาวคลื่น 1064 nm และบางครั้งจะใช้ร่วมกับกรรไกรเชิงแสง (optical scissors) หรือ มีดตัดเชิงแสง(optical scalpel) เราสามารถทำ สิ่งต่างๆได้มากมายต่อเซลล์ เช่น จับเซลล์มาเซลล์หนึ่งแล้วศึกษาการแบ่งตัวหรือการเจริญเติบโตของเซลล์เซลล์นั้น ขอยกตัวอย่างการประยุกต์ใช้เพียงบางส่วนดังนี้

การคัดแยกเซลล์และเชื้อแบคทีเรีย เราสามารถใช้คีมจับเชิงแสง พาเชื้อแบคทีเรียทีละตัวไปยังปลายท่อไมโครแคปิลารีโดยตรงโดยใช้คนบังคับคีมจับเชิงแสงโดยตรง



รูปที่ 2.7 การประยุกต์ใช้คีมจับเชิงแสงในเซลล์สิ่งมีชีวิต (A) การนำสเปิร์มเข้าสู่ไข่ (B) การนำคลอโรพลาสต์ออกจากเซลล์พืช(C) การศึกษาปฏิกิริยาทางไฟฟ้าระหว่างเซลล์ประสาท (D) การนำเซลล์ฆาตกรรมเร่งไปสัมผัสกับเซลล์มะเร็ง (A,B,C,D เรียงจากซ้ายไปขวา) [8]

การช่วยปฏิสนธิมนุษย์ มีการทดลองใช้คีมจับเชิงแสงเป็นตัวนำสเปิร์มไปสัมผัสกับไข่เพื่อช่วยในการปฏิสนธิ อีกการทดลองหนึ่งใช้กรรไกรเชิงแสงตัดผนังรังไข่เสียก่อน จากนั้นจึงใช้คีมจับเชิงแสงนำตัวสเปิร์มเข้าสู่ไข่ผ่านทางผนังที่ตัดตั้งในรูปที่ 2.7 (A)

การศึกษาส่วนประกอบต่างๆของเซลล์ เช่น การใช้กรรไกรเชิงแสงตัดผนังเซลล์พืชแล้วใช้คีมจับเชิงแสงนำคลอโรพลาสต์ออกมานอกเซลล์ดังในรูปที่ 2.7 (B)

การศึกษาเซลล์ประสาท (nerve cells) มีการนำเซลล์ประสาทมาวางเรียงกันเป็นรูปต่างๆดังในรูป แล้วศึกษาสัญญาณทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นและสร้างวงจรไฟฟ้าจากเซลล์ประสาท อีกด้วยดังในรูปที่ 2.7 (C)

การศึกษาเกี่ยวกับมะเร็ง มีการนำเซลล์มะเร็งไปติดกับเซลล์ที่ฆ่ามะเร็ง (killer cell) เพื่อทำลายเซลล์มะเร็งดังในรูป 2.7 (D)

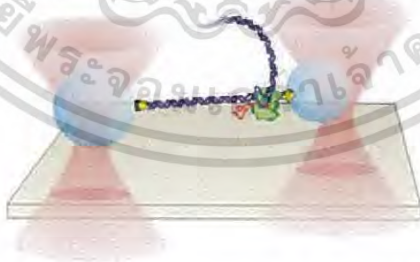
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผสมผสานเซลล์ นักวิทยาศาสตร์สามารถผสมผสานเซลล์ 2 เซลล์เข้าด้วยกันโดยไม่ใช้วิธีการทางเคมีหรือไฟฟ้ามาช่วย โดยเพียงใช้มีดตัดเชิงแสงตัดผนังเซลล์ทั้งสองเซลล์ แล้วใช้เข็มจับเชิงแสงนำเซลล์ทั้งสองมาสัมผัสกัน

2.6.2 การศึกษาด้านชีววิทยาระดับโมเลกุล

นอกจากจะใช้เข็มจับเชิงแสงในการจับเซลล์และส่วนต่างๆของเซลล์แล้ว ยังสามารถนำเข็มจับมาใช้ศึกษาชีวโมเลกุลซึ่งส่วนใหญ่จะศึกษาโมเลกุลขนาดใหญ่ (macromolecule) เช่น DNA โครโมโซม และมอเตอร์โมเลกุลต่างๆ เนื่องจากเราไม่สามารถใช้เข็มเชิงแสงจับโดยตรงเพราะมีขนาดเล็กเกินไป จึงต้องเชื่อมโมเลกุลกับเม็ดแก้วโดยการฉาบสารบางอย่างเช่น สาร Biotin และ streptavidin เป็นต้น แรงที่สารนี้เกาะกับเม็ดแก้วมีค่าประมาณ 300-400 pN ซึ่งมีค่ามากกว่าแรงเนื่องจากโมเลกุลที่จะทำการวัด (น้อยกว่า 100pN)

การประยุกต์ใช้เข็มจับเชิงแสงในทางชีววิทยาที่สำคัญที่สุด อย่างหนึ่งคือ การศึกษามอเตอร์โมเลกุล (molecular motor) ชนิดต่างๆ มอเตอร์โมเลกุลที่เป็นโปรตีนซึ่งจะทำหน้าที่ เป็นเสมือนเครื่องจักร ดึงพลังงานอิสระที่ได้จากกระบวนการไฮโดรลิซิสของ ATP มาเป็นพลังงานกล สิ่งที่น่าสนใจอย่างหนึ่งเกี่ยวกับมอเตอร์โมเลกุลก็คือมันทำงานในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เสถียร มีการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน มีการกวัดแกว่งของพลังงานแวดล้อมประมาณ 1kBT ที่ 25 °C ซึ่งไม่น้อย เมื่อเทียบกับพลังงานอิสระประมาณ 20 kBT ที่ได้จากการสลายตัวของ ATP หนึ่งโมเลกุล 18 มอเตอร์โมเลกุลดึงพลังงานอิสระและพลังงานแวดล้อมที่ไร้ทิศทาง แล้วมาทำให้ตนเองเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ต้องการ ดังที่เรียกว่ากระตือรือร้นความร้อน (thermal ratchet) ที่นักชีววิทยากำลังพยายามศึกษาว่า กระบวนการนี้เกิดขึ้นได้อย่างไร มอเตอร์โมเลกุลนับว่าเป็นเครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพเหนือกว่า เครื่องจักรที่มนุษย์เคยประดิษฐ์มา การศึกษามอเตอร์โมเลกุลนอกจากจะมีประโยชน์ด้านการศึกษาทางชีววิทยา แล้วยังมีประโยชน์ต่อเทคโนโลยีระดับนาโนหลายๆอย่าง ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต เช่น การฝังชิพที่มียารักษาโรคไว้ใต้ผิวหนังมนุษย์แล้วใช้มอเตอร์โมเลกุลเป็นตัวนำโมเลกุลของยาไปสู่เซลล์เป้าหมายที่ละน้อย เป็นมอเตอร์โมเลกุลที่นำมาศึกษามีหลายชนิดเช่น ไมโอซิน ไคเนซิน และ RNAP เป็นต้น

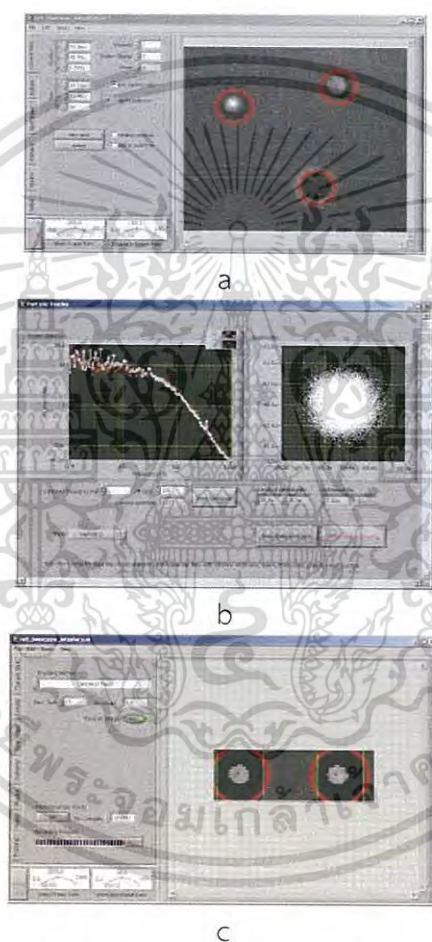


รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการศึกษาอาร์เอ็นเอ พอลิเมอเรส การตรึง RNAP ไว้กับเม็ดปิดโพลิสไตลีน เมื่อ RNAP คัดลอกรหัสพันธุกรรมจะดึงเม็ดแก้วทั้งสองเข้าหากัน[9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 การประยุกต์ใช้ LabVIEW กับ Optical Tweezers ในเชิงควบคุมการตรวจจับอนุภาค

การนำระบบคอมพิวเตอร์ใช้ในระบบ ควบคุม โปรแกรมในปัจจุบันที่นิยมคือโปรแกรม LabVIEW คือง่ายต่อการเขียนโปรแกรม และ สะดวกต่อการแสดงผลด้านกราฟฟิกส์ ในที่นี้นำมาประยุกต์ใช้กับชุดการทดลองคีมจับเชิงแสงเพื่อควบคุมตำแหน่งกับดักของอนุภาค การควบคุมเลื่อนตำแหน่ง XY Translation Stage และโปรแกรมควบคุมการปันเวลา (Program for time sharing) ในการใช้ลำแสงเลเซอร์เดี่ยวจับอนุภาคในหลายๆตำแหน่ง เพื่อให้ได้จำนวนของลำแสงที่เพียงพอต่อตำแหน่งที่อนุภาคอยู่ และสามารถจับอนุภาคได้รวดเร็ว



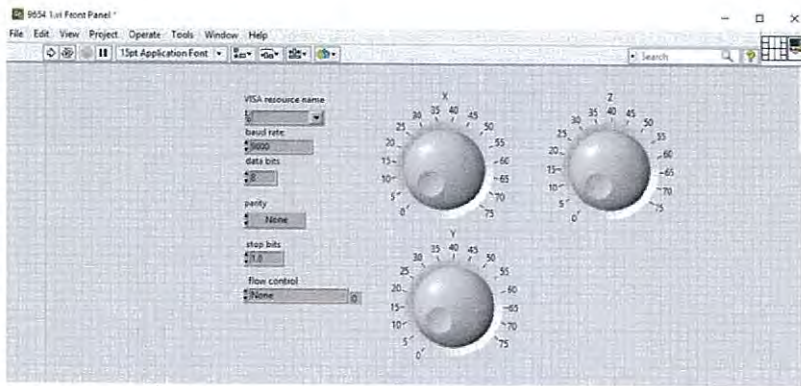
รูปที่ 2.9 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมควบคุมตำแหน่งกับดักจับอนุภาค
 a) การวิเคราะห์ภาพ
 b) การติดตามข้อมูลการจับอนุภาคในระยะเวลาที่ต่างกัน
 c) “Red Tweezers” control panel[10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 การใช้ LabVIEW เบื้องต้น

โปรแกรม LabVIEW เป็นโปรแกรมที่สร้างเพื่อนำมาใช้ในการวัดและเครื่องมือวัดสำหรับงานทางวิศวกรรม LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench ซึ่งหมายความว่า เป็นโปรแกรมที่สร้าง เครื่องมือวัดเสมือนจริงในห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรม ดังนั้นจุดประสงค์หลักของการทำงานของโปรแกรมนี้ก็คือการจัดการในด้านการวัดและเครื่องมือวัด อย่างมีประสิทธิภาพ และในตัวของโปรแกรมจะประกอบไปด้วยฟังก์ชันที่ช่วยในการวัดมากมายและแน่นอนที่สุด โปรแกรมนี้จะมีประโยชน์อย่างสูงเมื่อใช้ร่วมกับเครื่องมือวัดทางวิศวกรรมต่างๆ สิ่งที่ LabVIEW แตกต่างจากโปรแกรมอื่นอย่างเห็นได้ชัดที่สุดก็คือ LabVIEW นี้เป็นโปรแกรมประเภท GUI (Graphic User Interface) โดยสมบูรณ์ นั่นคือไม่จำเป็นต้องเขียน code หรือคำสั่งใดๆ ทั้งสิ้น และที่สำคัญลักษณะภาษาที่ใช้ในโปรแกรมนี้เราจะเรียกว่าเป็น ภาษารูปภาพ หรือเรียกอีกอย่างว่าภาษา G (Graphical Language) ซึ่งจะแทนการเขียนโปรแกรมเป็นบรรทัดอย่างที่เราคำนึงเคยกับภาษาพื้นฐาน เช่น C, BASIC หรือ FORTRAN ด้วยรูปภาพหรือสัญลักษณ์ทั้งหมด ซึ่งแม้ว่าในเบื้องต้นอาจจะลึบสนอยู่บ้าง แต่เมื่อคุ้นเคยกับการใช้โปรแกรมนี้แล้วเราจะพบว่า LabVIEW นี้มีความสะดวกและสามารถลดเวลาในการเขียนโปรแกรมลงไปได้มาก โดยเฉพาะในงานเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อใช้ในการวัดและการควบคุม โดยจุดประสงค์หลักแล้ว บริษัท National Instrument ได้เริ่มพัฒนาโปรแกรมที่จะนำมาใช้กับระบบเครื่องมือวัดที่มีความง่ายในการเขียนโปรแกรมและมีฟังก์ชันเพื่อจะช่วยให้การวัดทางวิศวกรรมให้มากที่สุดเพราะด้วยความที่เป็นมาบริษัท National Instrument เริ่มจากการผลิตอุปกรณ์ที่ใช้กับการวัดทางวิศวกรรม ไม่ใช่บริษัทที่เริ่มต้นมาจากการผลิต Software เป็นหลัก ดังนั้นคงไม่ผิดนักสำหรับผู้ที่ต้องการจะใช้ประโยชน์สูงสุดจากโปรแกรม LabVIEW คือผู้ที่ต้องการจะนำข้อมูลจากภายนอกเครื่องคอมพิวเตอร์เข้ามาในเครื่องเพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูล ประมวลผลค่า แสดงผลและในหลายกรณีใช้ในระบบควบคุมอัตโนมัติด้วยคอมพิวเตอร์ ข้อได้เปรียบสูงสุดของ LabVIEW คือการพยายามทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์ของเราเมื่อรวมกับ LabVIEW และ อุปกรณ์เชื่อมต่อเพื่อการเก็บข้อมูล (Data Acquisition Card) แล้วสามารถเปลี่ยนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลของเราให้กลายเป็นเครื่องมือวัดในหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็น Oscilloscope, Multi-meter, Function Generator, Strain meter Thermometer หรือเครื่องมือวัดอื่นๆ ตามที่เราต้องการ ทำให้สามารถใช้คอมพิวเตอร์ในการวัดและเครื่องมือวัดได้อย่างกว้างขวาง ซึ่งจุดนี้เองที่เป็นที่มาของชื่อ เครื่องมือวัดเสมือนจริง (Virtual Instrument) และข้อได้เปรียบเหนือการใช้อุปกรณ์จริงเหล่านั้นคือ Virtual Instrument สามารถปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับการใช้งานของผู้ใช้แต่ละกลุ่มได้ โดยการเปลี่ยน VI ให้เป็นไปตามต้องการ เป็นเรื่องที่ไม่ยุ่งยากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



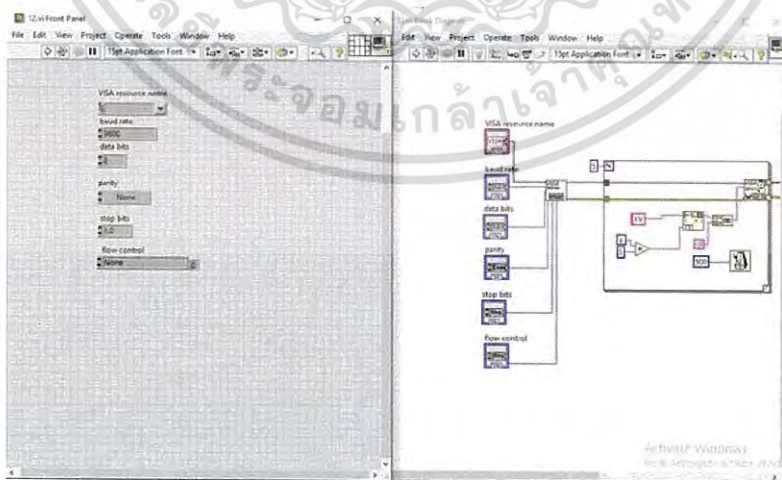
รูปที่ 2.10 แสดงหน้าต่างเริ่มต้นของโปรแกรม LabVIEW

2.7.2 ส่วนประกอบต่างๆ ใน LabVIEW

โปรแกรมที่เขียนขึ้นมาโดย LabVIEW เราจะเรียกว่า Virtual Instrument (VI) เพราะลักษณะที่ปรากฏทางจอภาพเมื่อผู้ใช้ใช้งานจะเหมือนกับเครื่องมือหรืออุปกรณ์ทางวิศวกรรม ในขณะที่เดียวกันหลังจากของอุปกรณ์เสมือนจริงเหล่านั้นจะเป็นการทำงานของ ฟังก์ชัน, Subroutines และโปรแกรมหลักเหมือนกับภาษาทั่วไป สำหรับ VI หนึ่งๆ จะประกอบด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วนคือ Front Panel, Block Diagram Icon และ Connector

ทั้งสามส่วนนี้จะประกอบกันขึ้นมาเป็นอุปกรณ์เสมือนจริง ลักษณะและหน้าที่ของส่วนประกอบทั้งสามมีดังต่อไปนี้

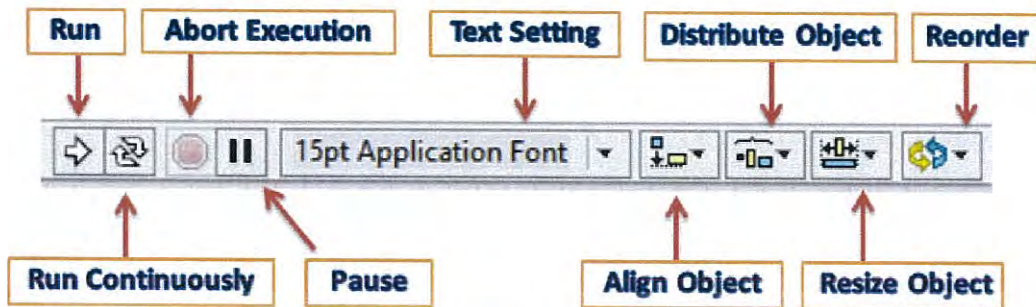
Front Panel หรือหน้าปัทม์ จะเป็นส่วนที่ใช้สื่อความกันระหว่างผู้ใช้กับโปรแกรม (หรือที่นิยมเรียก User Interface) โดยทั่วไปจะมีลักษณะเหมือนกับหน้าปัทม์ของเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้งานด้านการวัดต่างๆ ไป โดยทั่วไปจะประกอบด้วย สวิตช์ปิดเปิด, ปุ่มบิด, ปุ่มกด จอแสดงผลหรือแม้แต่ว่าผู้ใช้สามารถกำหนด สำหรับผู้ที่คุ้นเคยกับการเขียนโปรแกรมประเภท Visual ทั้งหลายคงจะเข้าใจกันดีว่า Front Panel นี้จะเปรียบเสมือนเป็น GUI ของโปรแกรมหรือ VI นั้นเอง



รูปที่ 2.11 Front Panel และ Block Diagram ของ LabVIEW

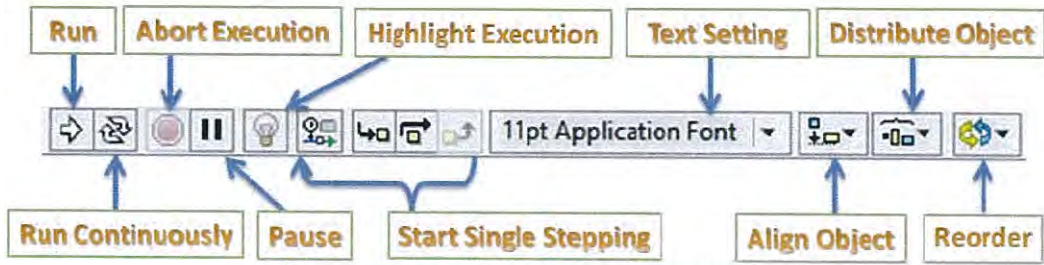
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือ Tools ในหน้าต่าง Front Panel



รูปที่ 2.14 แสดงทุลบาร์ในหน้าต่าง Front Panel

Run	ใช้สำหรับรันโปรแกรม
Run Continuously	ใช้สำหรับรันโปรแกรมอย่างต่อเนื่อง
Abort Execution	ใช้สำหรับหยุดการรันโปรแกรม หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าปุ่ม Stop
Pause	ใช้สำหรับหยุดการรันโปรแกรมชั่วคราวเพื่อตรวจสอบการทำงานของโปรแกรม เมื่อต้องการรันโปรแกรมต่อให้กดปุ่มนี้ซ้ำอีกครั้งโปรแกรมก็จะรันต่อไป
Text Setting	ใช้สำหรับจัดการกับตัวอักษรทั้งหมดไม่ว่าจะเป็น ลักษณะของตัวอักษร ขนาด รูปแบบตัวอักษรรวมถึงการกำหนดสีให้กับตัวอักษรด้วย
Align Object	ใช้จัด Object ต่างๆ ที่ใช้เขียนโปรแกรมให้อยู่ในแนวเดียวกัน ทั้งแนวตั้งและแนวนอนเพื่อความเป็นระเบียบเรียบร้อย
Distribute Object	ใช้สำหรับกำหนดระยะห่างระหว่าง Object อัตโนมัติ
Resize Object	ใช้สำหรับปรับขนาดของ Object
Reorder	ใช้สำหรับกำหนดลำดับก่อนหลังสำหรับการวางซ้อนทับกันของ Object



รูปที่ 2.17 แสดงทุลบาร์ในหน้าต่าง Block Diagram

Run	ใช้สำหรับรันโปรแกรม
Run Continuously	ใช้สำหรับรันโปรแกรมอย่างต่อเนื่อง
Abort Execution	ใช้สำหรับหยุดการรันโปรแกรม หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าปุ่ม Stop
Pause	ใช้สำหรับหยุดการรันโปรแกรมชั่วคราวเพื่อตรวจสอบการทำงานของโปรแกรม เมื่อต้องการรันโปรแกรมต่อให้กดปุ่มนี้ซ้ำอีกครั้งโปรแกรมก็จะรันต่อไป
Text Setting	ใช้สำหรับจัดการกับตัวอักษรทั้งหมดไม่ว่าจะเป็น ลักษณะของตัวอักษร ขนาด รูปแบบตัวอักษรรวมถึงการกำหนดสีให้กับตัวอักษรด้วย
Align Object	ใช้จัด Object ต่างๆ ที่ใช้เขียนโปรแกรมให้อยู่ในแนวเดียวกัน ทั้งแนวตั้ง และแนวนอนเพื่อความเรียบร้อยเรียบร้อย
Distribute Object	ใช้สำหรับกำหนดระยะห่างระหว่าง Object อัตโนมัติ
Resize Object	ใช้สำหรับปรับขนาดของ Object
Reorder	ใช้สำหรับกำหนดลำดับก่อนหลังสำหรับการวางซ้อนทับกันของ Object

2.7.2.3 Icon และ Connector

Icon และ Connector เปรียบเสมือนโปรแกรมย่อย Subroutine ในโปรแกรมปกติทั่วไป โดย Icon จะหมายถึง Block Diagram ตัวหนึ่งที่มีการส่งข้อมูลเข้าและออกผ่านทาง Connector ซึ่งใน LabVIEW เราจะเรียก Subroutine นี้ว่า SubVI ข้อดีของการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา G นี้ก็คือเราสามารถสร้าง VI ที่ละส่วนขึ้นมาให้ทำงานด้วยตัวเองได้อย่างอิสระ จากนั้นในภายหลังหากเราต้องการเราก็สามารถเขียน โปรแกรมอื่นขึ้นมาเพื่อเรียกใช้งาน VI ที่เราเคยสร้างขึ้นก่อนหน้านี้ทีละตัว ซึ่งทำให้ VI ที่เราเขียนขึ้นก่อนกลายเป็น SubVI ไป การเขียนในลักษณะนี้เราเรียกว่า เขียนเป็น Module

สำหรับลักษณะทั่วไปของ Icon และ Connector จะแสดงในรูปต่อไปนี้ เราจะเห็นว่าเมื่อเราแสดงในรูปของ Connector เราจะพบว่ามีส่วนต่อข้อมูลหรือที่เรียกว่า Terminal ปรากฏให้เห็น



รูปที่ 2.18 Icon และ Connector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 Piezo Electric คืออะไร

2.8.1 ไพโซโซอิลิกทรริกเซรามิก

ปัจจุบันอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์หลายชนิดที่ผลิตขึ้นมาโดยใช้วัสดุประเภทไพโซโซอิลิกทรริกเซรามิก เพราะการผลิตทำได้ง่าย ประสิทธิภาพสูง สามารถลดขนาด และน้ำหนัก ของอุปกรณ์ลงได้มาก ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ผลิตจากสารไพโซโซอิลิกทรริกเซรามิกได้แก่ รีซีฟเวอร์(receivers) แอลซวลเอเตอร์ (actuators) อัลตราโซนิคมอเตอร์ (ultrasonic motor) หม้อแปลงไพโซโซอิลิกทรริก (piezoelectric transformers) เป็นต้น

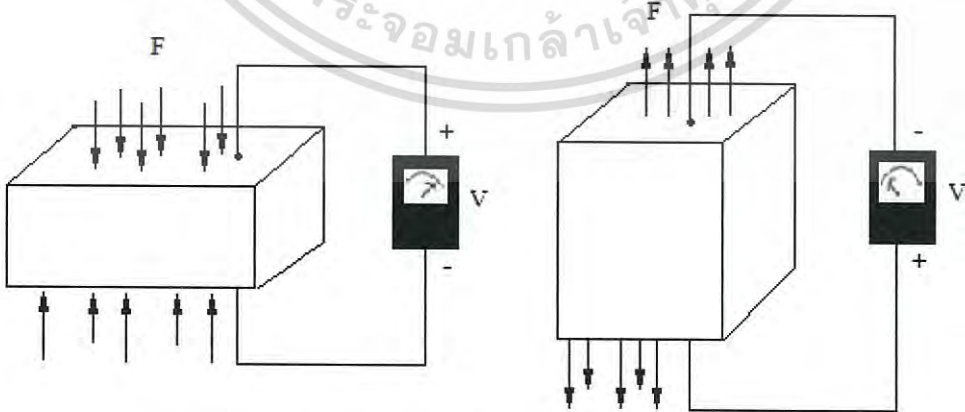
2.8.2 หลักการทำงานของสารไพโซโซอิลิกทรริกเซรามิก

ไพโซโซอิลิกทรริกเซรามิก คือสารเซรามิกที่มีคุณสมบัติสำคัญอยู่สองอย่างซึ่งจะประกอบด้วยคุณสมบัติอย่างแรกสามารถเปลี่ยนรูปพลังงานจากพลังงานทางกลเป็นพลังงานทางไฟฟ้า เมื่อมีการเปลี่ยนรูปร่างของวัตถุที่เป็นสารไพโซโซอิลิกทรริกเซรามิก ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมวัตถุนั้นและคุณสมบัติอย่างที่สองคือสามารถเปลี่ยนรูปจากพลังงานทางไฟฟ้าเป็นพลังงานทางกล โดยเมื่อมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมวัตถุที่เป็นสารไพโซโซอิลิกทรริกเซรามิก แล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปร่างวัตถุ

ดังนั้นคุณสมบัติในการทำงานของสารไพโซโซอิลิกทรริกเซรามิกจะประกอบด้วยคุณสมบัติทางกล และคุณสมบัติทางไฟฟ้า โดยคุณสมบัติทางกลของไพโซโซอิลิกทรริกเซรามิกประกอบด้วยความเค้น (Stress : T) ความเครียด (Strain : S) และคุณสมบัติทางไฟฟ้าของสารไพโซโซอิลิกทรริกเซรามิกประกอบด้วย สนามไฟฟ้า (Electric : E) โพลาริเซชัน (Polarization : P)การทำงานสองลักษณะดังกล่าวสามารถอธิบายโดยละเอียดได้ดังนี้คือ

2.8.2.1 การทำงานของไพโซโซอิลิกทรริกทรานสดิวเซอร์ (Piezoelectric Transducers)

เมื่อมีแรงกระทำกับวัตถุที่เป็นไพโซโซอิลิกทรริกเซรามิกในลักษณะของแรงดึงหรือแรงกดแล้วมีผลทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของวัตถุนั้น ซึ่งทิศทางของแรงดันไฟฟ้าแปรตามลักษณะการกดหรือการดึง ดังแสดงในรูปที่ 2.19 ตัวอย่างการทำงานลักษณะนี้ได้แก่ อุปกรณ์วัดค่าปริมาณต่างๆ เช่น วัดความดันอากาศ วัดความเครียดภายในชิ้นส่วนของวัสดุ เป็นต้น

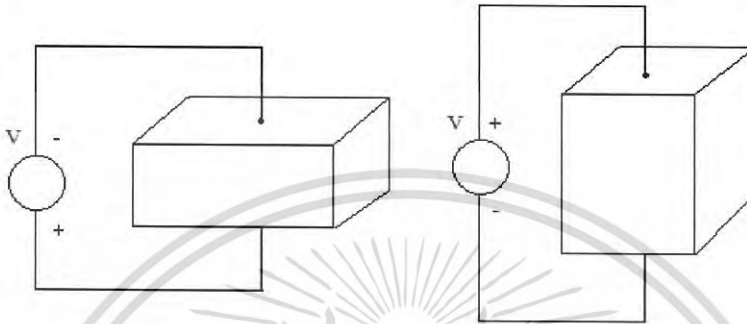


รูปที่ 2.19 การทำงานของไพโซโซอิลิกทรริกทรานสดิวเซอร์[11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2.2 การทำงานของไพโซโซิเล็กทริกแอกชูเอเตอร์ (Piezoelectric Actuators)

เป็นวัสดุที่เป็นสารไพโซโซิเล็กทริกเซรามิกที่มีลักษณะการยืดหรือหดได้เมื่อมีการป้อนแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของวัตถุนั้น ถ้ามีการป้อนแรงดันไฟฟ้าที่มีความถี่แบบสลับขั้วต่อเนื่องก็จะทำให้วัตถุนั้นเกิดการสั่นได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.20 ตัวอย่างการทำงานลักษณะนี้ได้แก่หัวพิมพ์ของเครื่องพิมพ์ชนิดพ่นหมึก (inkjet printer) เป็นต้น



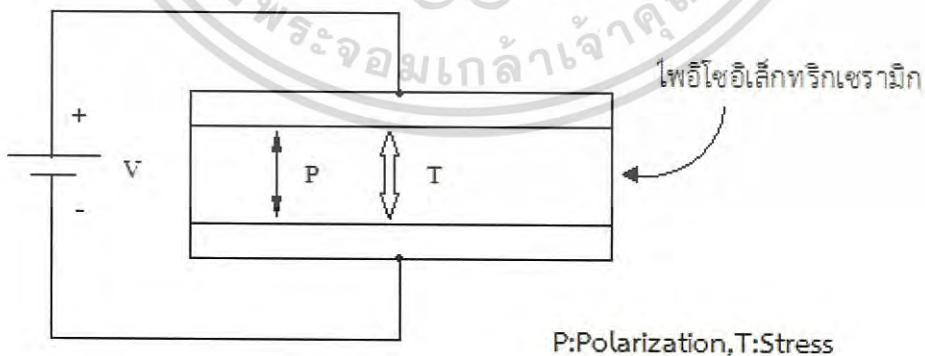
รูปที่ 2.20 การทำงานของไพโซโซิเล็กทริกแอกชูเอเตอร์[11]

2.8.3 ลักษณะการทำงานของไพโซโซิเล็กทริกเซรามิก

ไพโซโซิเล็กทริกเซรามิกมีลักษณะการทำงานอยู่สองลักษณะการทำงานด้วยกันคือการทำงานในลักษณะของ Longitudinal mode และ Transverse mode

2.8.3.1 การทำงานในลักษณะของ longitudinal mode

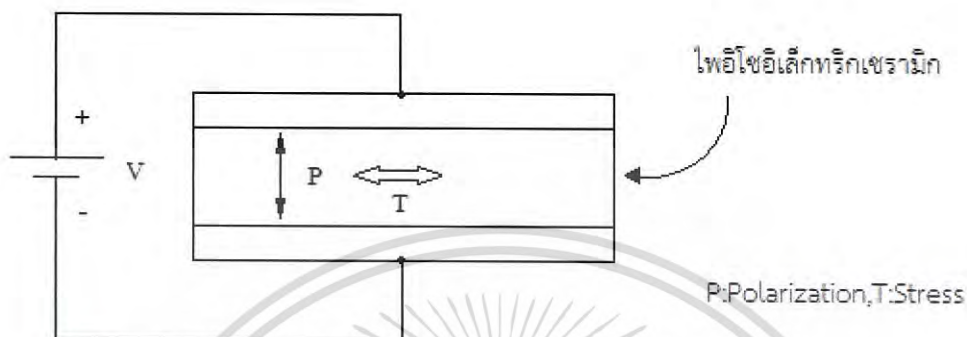
เมื่อมีแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของวัตถุที่เป็นไพโซโซิเล็กทริกเซรามิก แล้วทำให้วัตถุนั้นเกิดการยืดหรือหดในแนวทิศทางเดียวกับแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของวัตถุนั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 ลักษณะการทำงานของ Longitudinal mode ของไพโซโซิเล็กทริกเซรามิก[11]

2.8.3.2 การทำงานในลักษณะของ Transverse mode

เมื่อมีแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของวัตถุที่เป็นไพเอโซอิเล็กทริกเซรามิก แล้วทำให้วัตถุนั้นเกิดการยืดหรือหดในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางของแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของวัตถุนั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.22

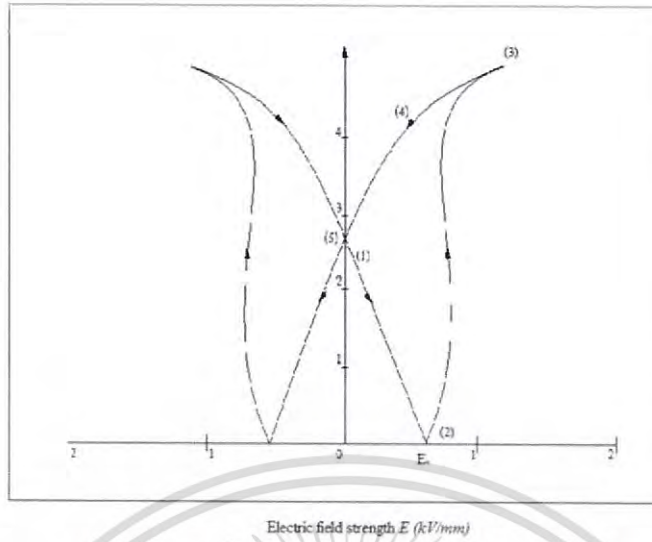


รูปที่ 2.22 ลักษณะการทำงานของ Transverse mode ของไพเอโซอิเล็กทริกเซรามิก[11]

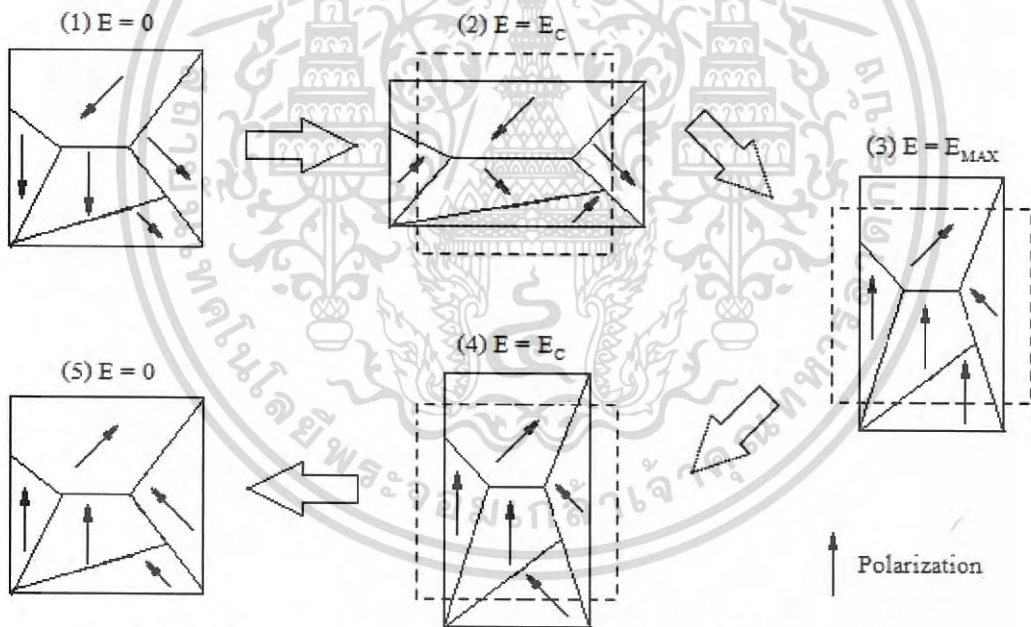
2.8.4 คุณสมบัติทางไฟฟ้าและทางกลของไพเอโซอิเล็กทริกเซรามิก

ไพเอโซอิเล็กทริกเซรามิกก่อนจะนำมาใช้งาน ต้องถูกนำไปให้ได้รับแรงดันไฟฟ้าตรงแรงดันสูง (Poling) เพื่อให้โดเมนภายในของไพเอโซอิเล็กทริกเซรามิกเกิดการเรียงตัว (Polarization) ในทิศทางของสนามไฟฟ้า (E) และทำให้ไพเอโซอิเล็กทริกเซรามิกเกิดการยึดตัวตามทิศทางของสนามไฟฟ้า เมื่อเสร็จสิ้นการ Poling ($E = 0$) ไพเอโซอิเล็กทริกเซรามิกเกิดการหดตัวแต่จะไม่กลับมาที่ตำแหน่งเดิมก่อนการ poling ดังแสดงที่ตำแหน่ง (1) ในรูปที่ 2.23 และรูปที่ 2.24 (1)

เมื่อนำไพเอโซอิเล็กทริกเซรามิกมาใช้งาน เช่น ให้สนามไฟฟ้าในทิศทางตรงข้ามกับการ Poling โดเมนภายในก็จะหดตัวลงเมื่อสนามไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดเมนก็จะหดตัวลงจนกระทั่งเมื่อ $E = E_c$ ดังแสดงที่ตำแหน่ง (2) ในรูปที่ 2.23 และรูปที่ 2.24 (2) ไพเอโซอิเล็กทริกเซรามิกก็ไม่สามารถหดตัวได้อีก แต่เมื่อสนามไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอีกโดเมนภายในก็จะกลับทิศทางทำให้ไพเอโซอิเล็กทริกเซรามิกยึดตัว เพราะโดเมนภายในมีทิศทางตามทิศทางของสนามไฟฟ้าเมื่อ $E = E_{max}$ ดังแสดงที่ตำแหน่ง (3) ในรูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6 (3) ไพเอโซอิเล็กทริกไม่สามารถยึดตัวได้มากกว่านี้แล้วเมื่อสนามไฟฟ้าลดลงไพเอโซอิเล็กทริกเซรามิกก็จะหดตัวลงตามลำดับดังแสดงที่ตำแหน่ง (4) ในรูปที่ 2.23 และรูปที่ 2.24 (4) ดังนั้นที่ตำแหน่งสุดท้าย ดังแสดงที่ตำแหน่ง(5) ในรูปที่ 2.23 และรูปที่ 2.24 (5) $E = 0$ ทิศทางของโดเมนจะกลับทิศทางของโดเมนเดิมเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะเริ่มต้นตำแหน่ง



รูปที่ 2.23 คุณลักษณะทางไฟฟ้าและทางกลของโพซิโอดีเล็กทริกเซรามิก[11]



รูปที่ 2.24 ลักษณะการยืดหดของวัสดุที่เป็นสารโพซิโอดีเล็กทริกเซรามิก[11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 NanoMax TS 3 Axis Flexure Stage

NanoMax TS 3-Axis Flexure Stage เป็นโมเดลที่ถูกออกแบบเพื่อรวบรวมระบบอิเล็กทรอนิกส์และแกน 3 มิติในระดับนาโนเมตร อุปกรณ์นี้เหมาะสำหรับการจัดตำแหน่งเส้นใยแก้วนำแสง ท่อนำคลื่น อุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ หรือว่าอุปกรณ์ต่างๆ ที่ต้องการการจัดตำแหน่งที่มีความละเอียดสูง หรือการประยุกต์ใช้ที่ต้องการการจัดตำแหน่งรวมทั้งภายในห้องปฏิบัติการ โดยอุปกรณ์ชิ้นนี้ถูกออกแบบให้การทำงานของโมเดลมีประสิทธิภาพและยืดหยุ่น



รูปที่ 2.25 แสดงถึง NanoMax TS 3 Axis Flexure Stage

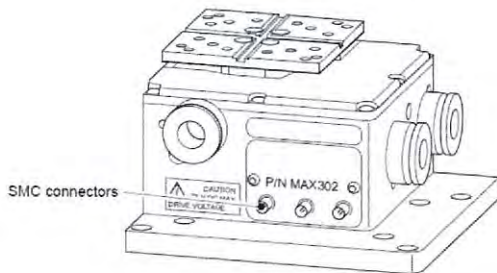
ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของ 3 Axis Flexure Stage

Control	Open loop
Travel	4 mm
Voltage Range	0-75 V
Travel Range	20 μm
Theoretical Resolution	20 mm
Bidirectional Repeatability	200 mm
Absolute On-Axis Accuracy	1.0 μm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.1 SMC connector ทางเชื่อมต่อกับแรงดันไฟฟ้า

Piezo Drive Input SMC Male

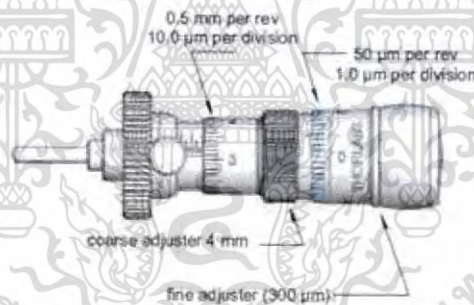


Nominal Maximum Input Voltage 75 V
Absolute Maximum Input Voltage 100 V

รูปที่ 2.26 แสดงถึง SMC connector ทางเชื่อมต่อกับแรงดันไฟฟ้า[12]

2.9.2 Manual Differential Drives and Differential Micrometer Drives

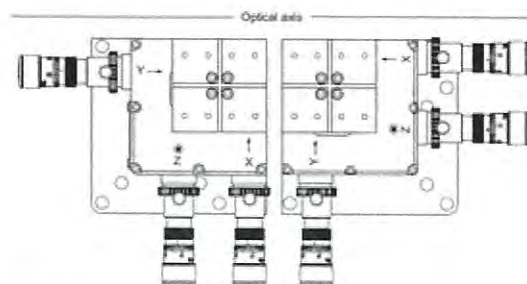
การปรับของไมโครมิเตอร์ ปรับหมุนสเกลหยาบของไมโครมิเตอร์ตามเข็มนาฬิกาจนแพลตฟอร์มของอุปกรณ์เริ่มเคลื่อนไหว แล้วเริ่มการปรับหมุนสเกลละเอียดของไมโครมิเตอร์จนอุปกรณ์เริ่มเคลื่อนไหว แสดงว่าไมโครมิเตอร์พร้อมใช้งาน



รูปที่ 2.27 แสดงถึง Reading micrometer drives[12]

2.9.3 Orienting the Moving Platform

การเลื่อนตำแหน่ง Stage ในทิศทางปกติเช่นใน แนวแกน X คือ Optical Axis หรือถ้าเปลี่ยน Optical Axis ในทิศทางปกตินั้นเป็น ซ้าย หรือ ขวา มือเรา แกน Y ก็จะเป็น Optical Axis ดังรูป



รูปที่ 2.28 แสดงถึง Platform orientation[12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยของโครงการพิเศษนี้เป็นการออกแบบระบบคีมจับเชิงแสงโดยการเน้นในเรื่องของการเลื่อนตำแหน่งของสารตัวอย่างตามแนวแกน XYZ โดยการควบคุม Voltage โดยใช้ Piezo Stage ในการควบคุมตำแหน่ง โดยการทำงานจะแบ่งออกเป็น

ขั้นตอนที่ 1 เขียนโปรแกรมควบคุม Piezo Stage ในแนวแกน XYZ และทดสอบการทำงาน

ขั้นตอนที่ 2 ออกแบบ Slide การวางสารตัวอย่าง

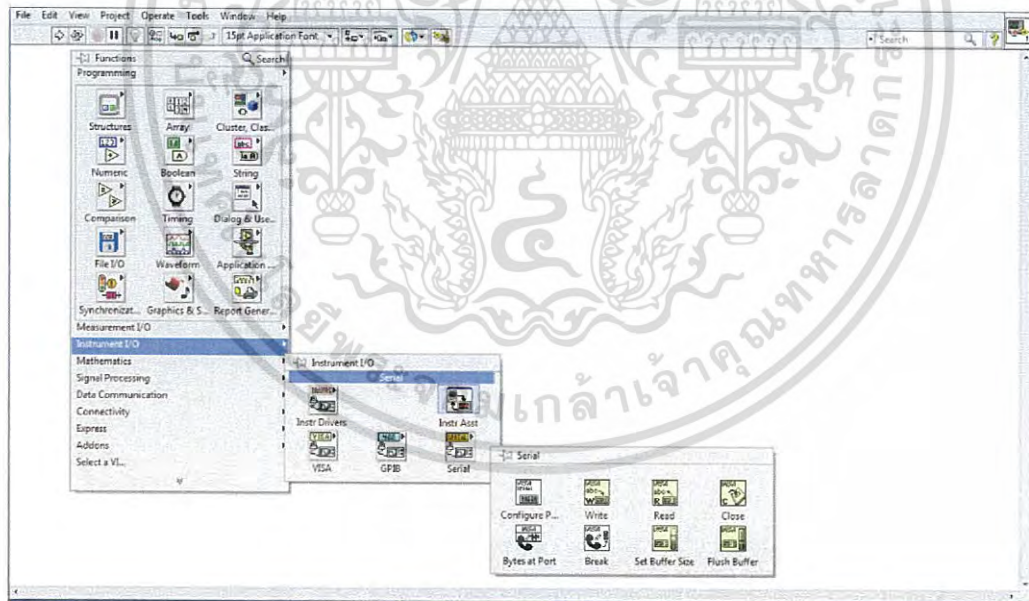
ขั้นตอนที่ 3 ออกแบบและวางแผนการสร้างอุปกรณ์คีมจับเชิงแสง

ขั้นตอนที่ 4 การติดตั้งระบบคีมจับเชิงแสง

ขั้นตอนที่ 5 ทดสอบระบบคีมจับเชิงแสง และบันทึกผลการทดลอง

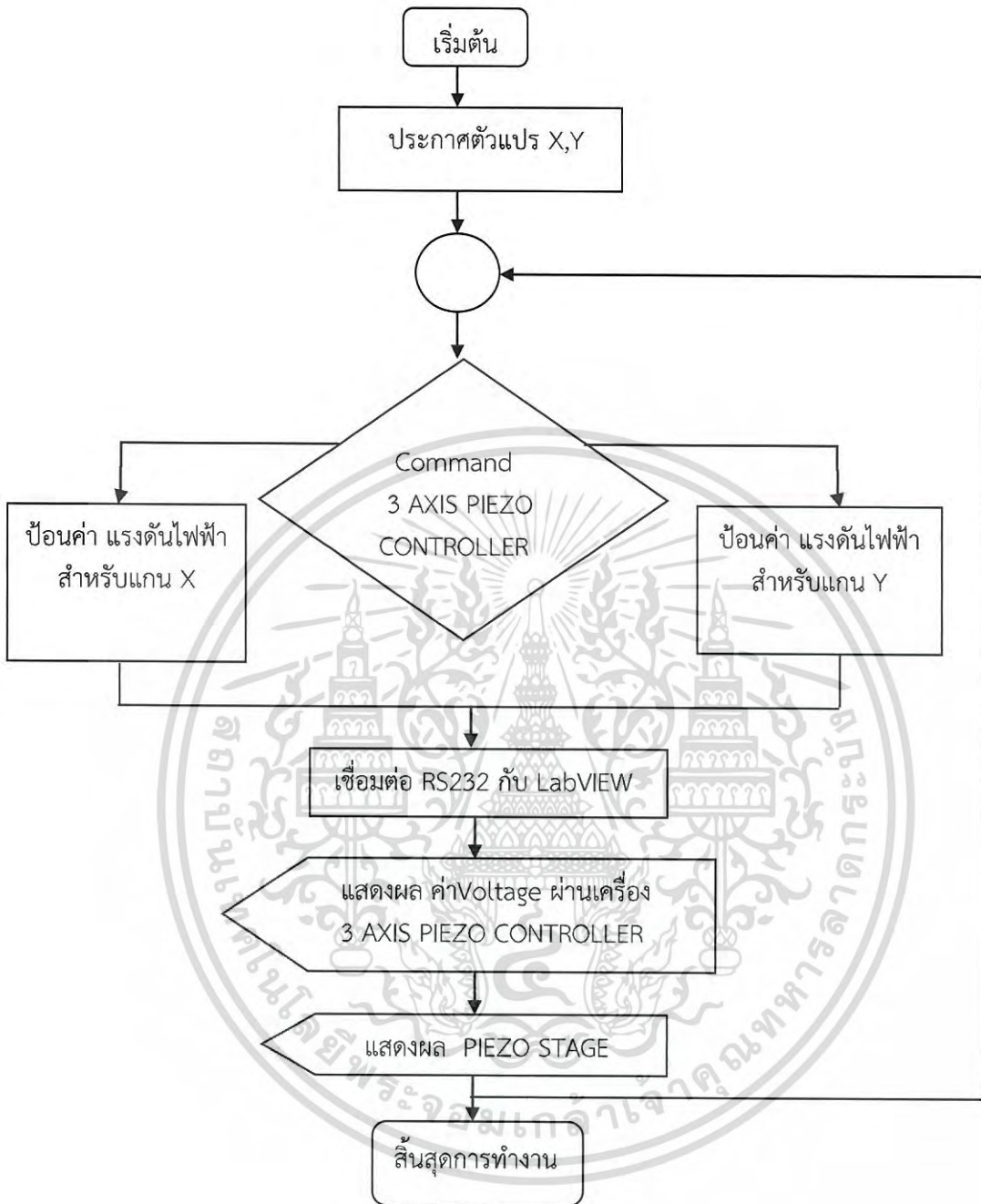
3.1 เขียนโปรแกรม ในการควบคุมการเลื่อนตำแหน่งของ Piezo Stage ผ่านเครื่อง 3 AXIS PIEZO CONTROLLER

ในส่วนของงานวิจัยนี้จะใช้ โปรแกรม LabVIEW ติดต่อกับ 3 AXIS PIEZO CONTROLLER โดยการติดต่อสื่อสารแบบ อนุกรม RS232 ซึ่งใน LabVIEW นั้นมีปลั๊ก การเชื่อมต่อแบบอนุกรมอยู่แล้ว



รูปที่ 3.1 แสดงปลั๊กของ Serial Port ใน LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

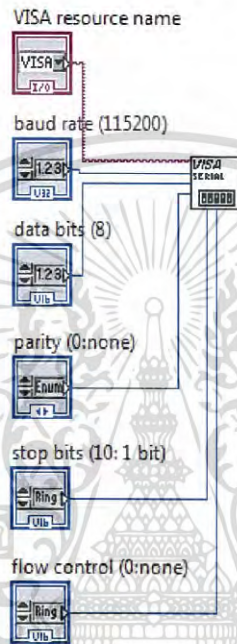


รูปที่ 3.2 แผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรม LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเขียนโปรแกรม ควบคุมตำแหน่ง Piezo Stage ผ่านเครื่อง 3 AXIS PIEZO CONTROLLER จะใช้คำสั่ง Visa ด้วยกันหลักๆ 3 คำสั่ง คือ

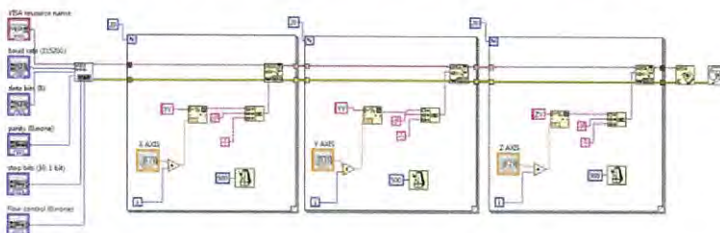
ส่วนที่ 1 Visa Configure Port เป็นตัวกำหนดการเชื่อมต่อกับ Com Port โดยในที่นี้เลือกใช้เป็น COM3 (เป็นค่าเฉพาะแต่ละเครื่อง) และยังเป็นตัวกำหนด Baud Rate : 115200 , Data Bits : 8 , Parity : none , Stop Bits : 1 และ Flow Control : none โดยเป็นค่าสเปคของแต่ละเครื่อง ในที่นี้เป็นค่าของ เครื่อง 3 AXIS PIEZO CONTROLLER



รูปที่ 3.3 แสดงในส่วนการเขียน Visa Configure Port

ส่วนที่ 2 Visa Write จะมีการกำหนด Serial Command Summary โดยจะใช้ Command AV,AY,AZ ซึ่งเป็นตัวเขียนค่าหนด Voltage ของ แกน XYZ ออกไปยังเครื่อง 3 AXIS PIEZO CONTROLLER

ส่วนที่ 3 Visa Close เป็นคำสั่งปิดการทำงาน เมื่อมีการทำงานครบทุกคำสั่ง

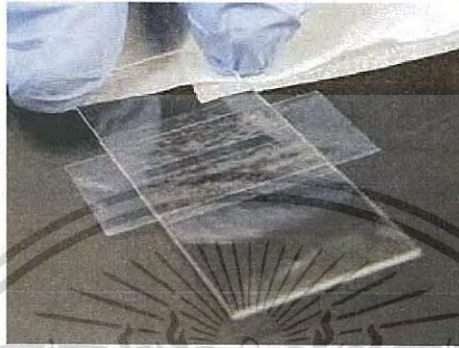


รูปที่ 3.4 แสดง Block Diagram ของโปรแกรมควบคุมตำแหน่ง Piezo Stage ผ่าน 3 AXIS PIEZO CONTROLLER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเตรียมอนุภาคตัวอย่าง (Sample Particle) และการออกแบบ Slide

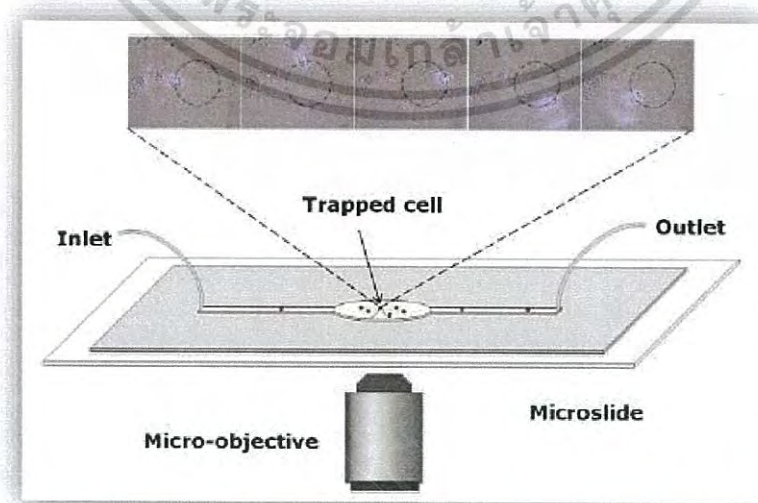
การเตรียมอนุภาคตัวอย่างคือ นำสไลด์ที่สะอาด 1 แผ่นพร้อมกระจกปิดสไลด์ (cover slide) วางอนุภาคตัวอย่างบนแผ่นสไลด์ จากนั้นหยดน้ำบนสไลด์และปิดด้วยกระจกปิดสไลด์ สไลด์ที่ดีต้องไม่มีฟองอากาศอยู่ระหว่างสไลด์และกระจก ตำแหน่งของอนุภาคตัวอย่างที่ศึกษาต้องอยู่กึ่งกลางสไลด์และไม่หนาจนเกินไปเพื่อให้แหล่งกำเนิดแสงส่องผ่านได้



รูปที่ 3.5 ภาพถ่ายแสดงอนุภาคตัวอย่างที่ปิดด้วย coverslip



รูปที่ 3.6 แผนภาพการเตรียมอนุภาคตัวอย่างที่ สร้างจากสไลด์ของกล้องจุลทรรศน์

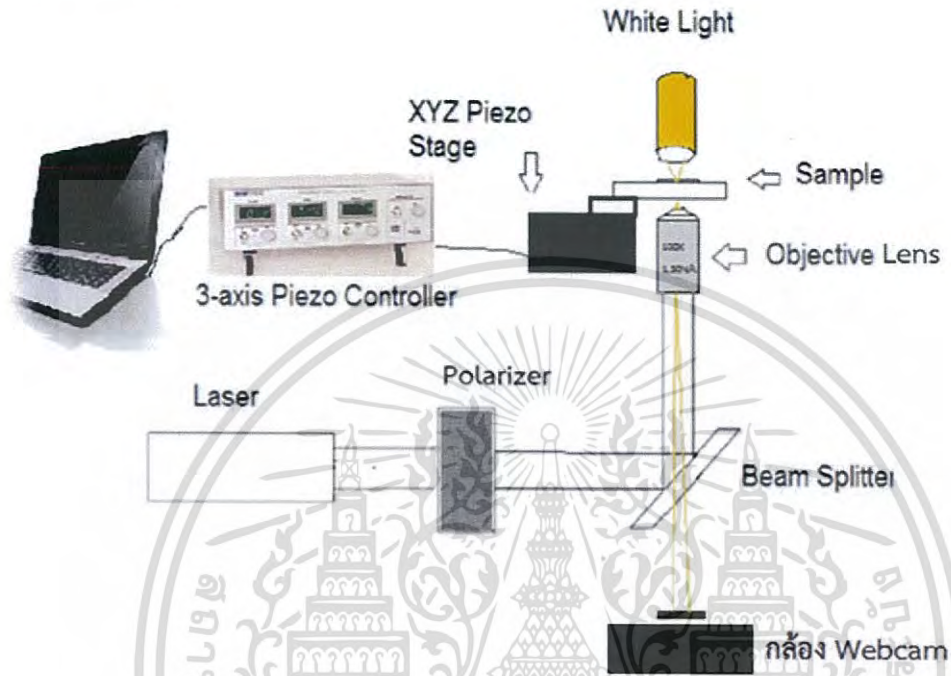


รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการสร้าง slip แบบมี input กับ output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ออกแบบและวางแผนการสร้างอุปกรณ์คีมจับเชิงแสง

การออกแบบการสร้างอุปกรณ์คีมจับเชิงแสง จะแสดงการสร้างและการออกแบบการจัดอุปกรณ์ในส่วนหลักๆของระบบการทำงานของ Optical tweezers โดยจะคำนึงถึงขนาดของแสงเลเซอร์และขนาดของอนุภาค



รูปที่ 3.8 การออกแบบการสร้างอุปกรณ์คีมจับเชิงแสง

3.3.1 การเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง แบ่งออกเป็นส่วนต่างๆดังนี้

ส่วนที่ 1 แหล่งกำเนิดของแสงเลเซอร์

การสร้างระบบคีมจับเชิงแสงนี้ใช้เลเซอร์ชนิด Helium Neon เป็นเลเซอร์ที่มีกำลังแสง 20 มิลลิวัตต์ ที่ความยาวคลื่น 632.8 nm เป็นแสงเลเซอร์ที่อยู่ในย่านตามมองเห็น ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการเซทระบบ



รูปที่ 3.9 แสดงแหล่งกำเนิดของแสงเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 2 Beam Splitter

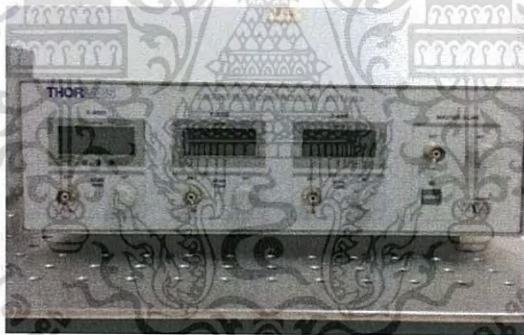
เป็นส่วนที่จะทำการแยกอินฟราเรดที่ผ่านเข้ามาให้เป็นสองส่วนคือ สามารถให้แสงทะลุผ่านได้ 50 % และจะสะท้อน 50 %



รูปที่ 3.10 แสดงภาพ Beam Splitter

ส่วนที่ 3 3 AXIS PIEZO CONTROLLER

อุปกรณ์ที่ใช้ควบคุม piezo stage ในตำแหน่ง xyz โดยการปรับค่าแรงดันไฟฟ้า ใช้ LabView ในการควบคุมแรงดันไฟฟ้า เชื่อมต่อกับ Serial port RS-232



รูปที่ 3.11 แสดงภาพเครื่อง 3 AXIS PIEZO CONTROLLER



รูปที่ 3.12 แสดงภาพ สาย USB RS232 Serial Port

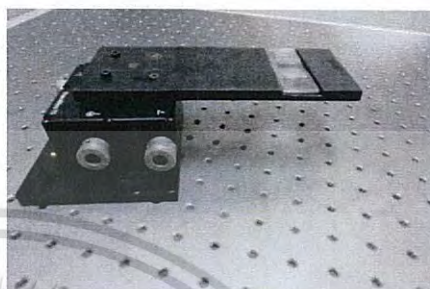
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 4 Piezo Stage XYZ

อุปกรณ์ที่ควบคุมตำแหน่งระยะ XYZ สามารถ ขับเคลื่อนด้วยแรงดันไฟฟ้า เคลื่อนได้ในระยะระดับไมครอน ดังนั้นจึงใช้ Piezo Stage ในการเลื่อนตำแหน่งบน Slide ของสารตัวอย่าง



a.



b.

รูปที่ 3.13 a) แสดงภาพอุปกรณ์ Piezo Stage XYZ b) แสดงภาพการวาง slide บน Piezo Stage

ส่วนที่ 5 Microscope 100 X (oil immersion) objective lens

ใช้ในการจับอนุภาค มีขนาด 100X หัวเป็นแบบจุ่มน้ำมัน (oil) NA. 1.3 ซึ่งเป็นตัวที่ใช้ในเรื่อง optical tweezers โดยเฉพาะ โดยติดตั้งบนแท่นเลื่อน x-y-z ซึ่งสามารถปรับให้แสงเลเซอร์เข้าสู่กลางเลนส์ได้อย่างแม่นยำ



รูปที่ 3.14 แสดง Objective lens แบบหัวจุ่มน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 6 กล้องจุลทรรศน์แบบส่องขึ้น (Inverted Microscope)

การดำเนินงานวิจัย เราจะใช้ กล้องจุลทรรศน์แบบส่องขึ้น ในการทำงานวิจัยเนื่องสะดวกต่อการเซทระบบ เพราะ กล้องจุลทรรศน์จะมีส่วน ของระบบภาพ ในตัว



รูปที่ 3.15 แสดงกล้องจุลทรรศน์แบบส่องขึ้น (Inverted Microscope)

3.4 ขั้นตอนการติดตั้งระบบคีมจับเชิงแสง

ขั้นตอนที่1 ทำการ set ระบบแสงเลเซอร์ โดยใช้ เลเซอร์ ทั้ง 3 แบบ

ขั้นตอนที่2 ติดตั้งระบบ Beam Expander System และทำการวัดระยะความสูงของลำแสง และขนาดของลำแสง จัดลำแสงที่ได้จากระบบ Beam Expander เข้าไปยังกระจก Beam Splitter พร้อมทั้งจัดให้แสงที่ได้เข้าไปโฟกัสที่เลนส์ใกล้วัตถุ

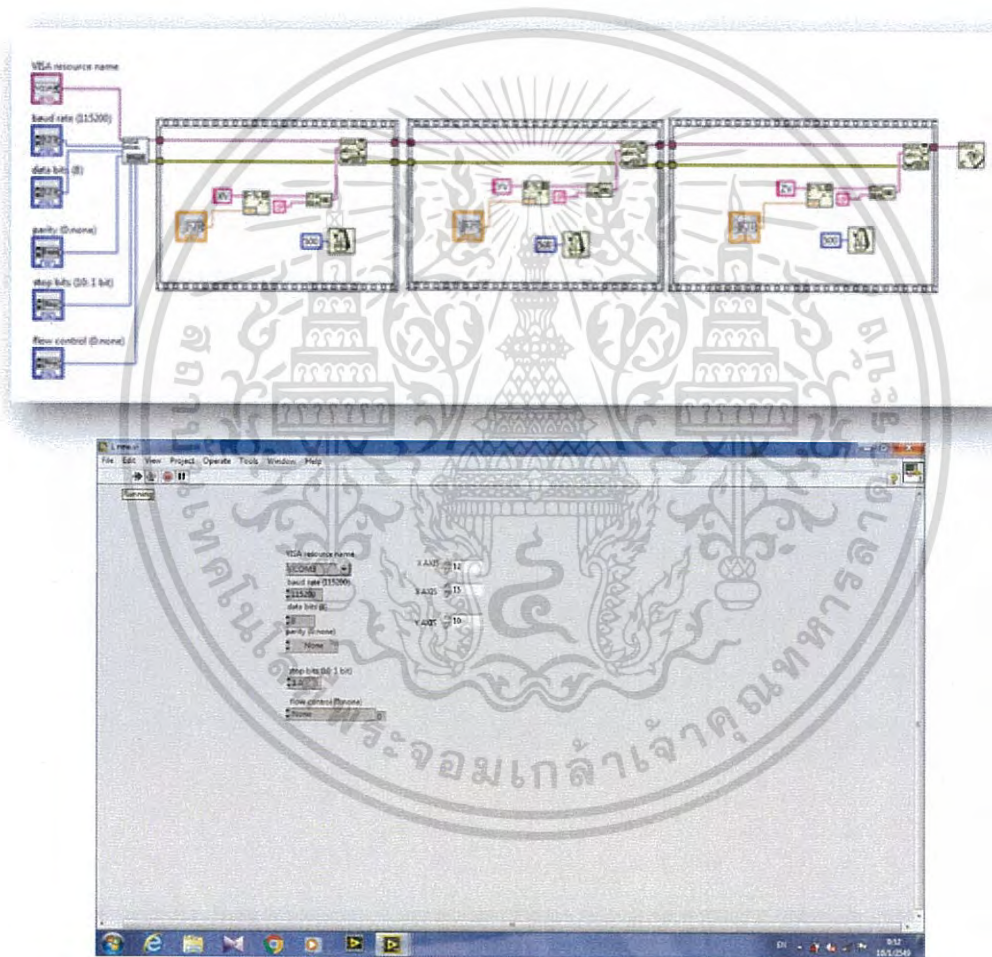
ขั้นตอนที่3 ติดตั้ง Piezo Stage กับเครื่อง 3 AXIS PIEZO CONTROLLER และ การเลื่อนตำแหน่ง โดยโปรแกรม LabVIEW

ขั้นตอนที่4 จัดอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการเฝ้าดูการทำงานโดยการติดตั้งกล้องเว็บแคมติดต่อกับ Inverted Microscope และต่อกกล้องเว็บแคมเข้ากับคอมพิวเตอร์และทำการลงโปรแกรมการทำงานของกล้องเพื่อใช้ในการเฝ้าดูและบันทึกการทำงานของระบบที่สร้างขึ้น

บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลการทดสอบการเขียนโปรแกรม LabVIEW แสดงผลเชื่อมต่อ กับ 3 AXIS PIEZO CONTROLLER

การทดลองการเขียนโปรแกรม LabVIEW เพื่อควบคุม Piezo Stage ผ่านการป้อนค่าแรงดันไฟฟ้าของเครื่อง 3 AXIS PIEZO CONTROLLER ในที่นี้จะทดสอบการ RUN โปรแกรม ให้แสดงผล Output เป็นค่าแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 4.1 แสดง Block Diagram ของโปรแกรมควบคุมตำแหน่ง Piezo Stage ผ่าน 3 AXIS PIEZO CONTROLLER

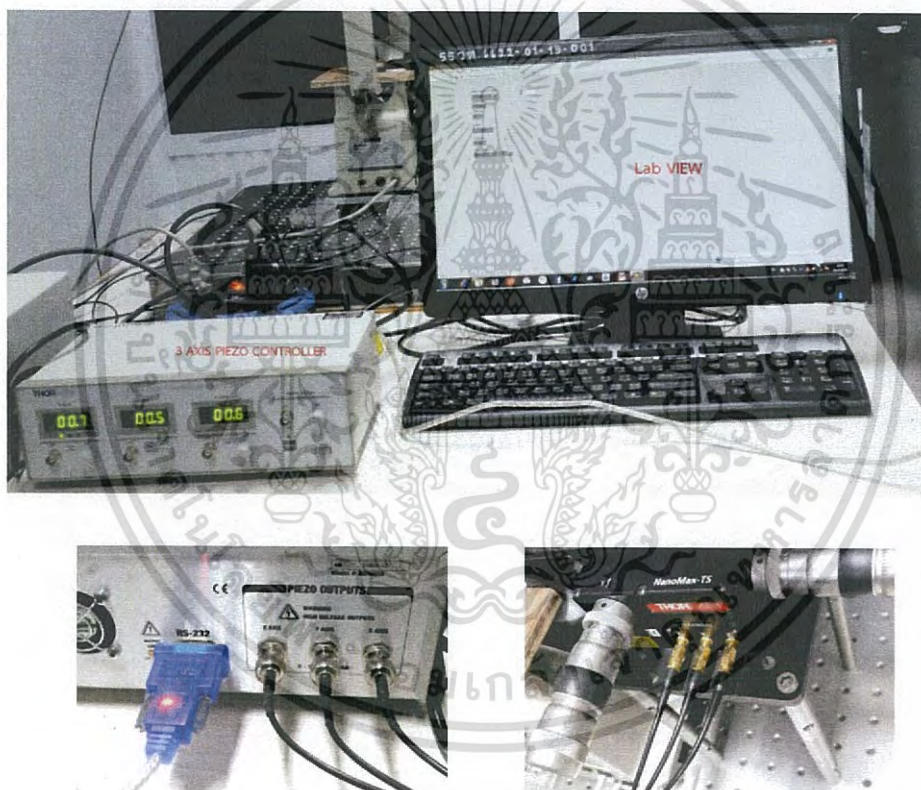
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงผลการ RUN โปรแกรม ของเครื่อง 3 AXIS PIEZO CONTROLLER ถึง 20 Volt

4.2 การนำโปรแกรม LabVIEW Control Piezo Stage ใช้ในระบบคีมจับเชิงแสง

4.2.1 ผลการจัดระบบ Piezo Stage



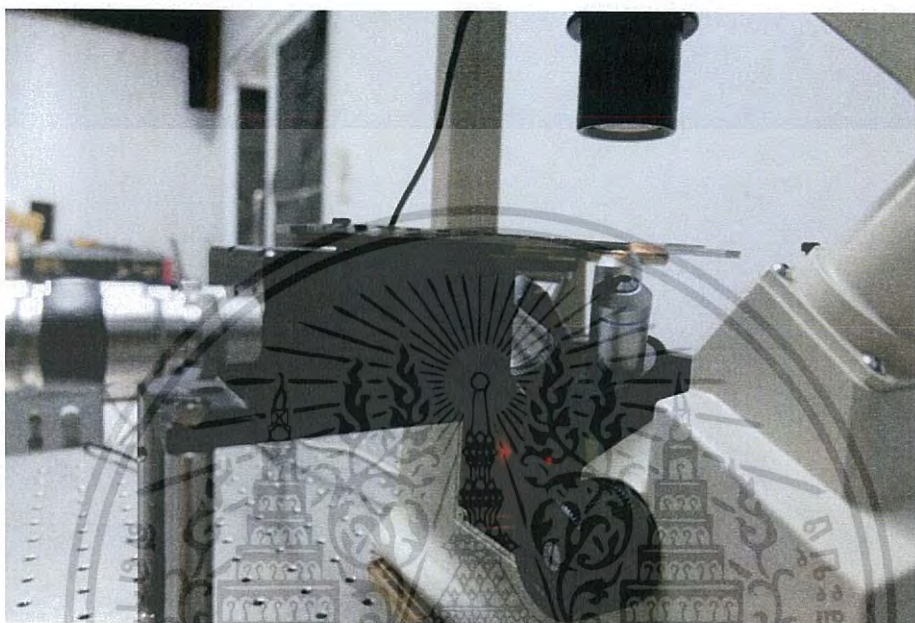
รูปที่ 4.3 แสดงการจัดระบบ LabVIEW และ 3 AXIS PIEZO CONTROLLER และแสดงภาพด้านหลังเครื่อง 3 AXIS PIEZO CONTROLLER ต่อ RS232 เข้ากับ CPU เพื่อเชื่อมต่อกับ LabVIEW และ สาย BNC 3 AXIS ต่อเข้ากับ Piezo Stage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดสอบการทำงานของระบบการควบคุมการเลื่อนตำแหน่ง Slide โดย Piezo Stage ในตำแหน่ง XY

4.3.1 การใช้ Piezo Stage เข้ากับกล้องจุลทรรศน์ เพื่อสังเกตตำแหน่งการเคลื่อนที่ ในแนว XY

การวาง Piezo Stage แทน Stage ของกล้องจุลทรรศน์ เพื่อหาตำแหน่งของอนุภาค โดยยก Piezo Stage ให้มีความสูงเกินจาก objective lens 40X เพื่อเพิ่มระยะการโฟกัสภาพ ในแนวแกน Z



รูปที่ 4.4 แสดงภาพการใช้ Lens ขนาด 40X กับการติดตั้งระบบคีมจับเชิงแสง



รูปที่ 4.5 แสดงการวาง Piezo Stage เข้ากับกล้องจุลทรรศน์

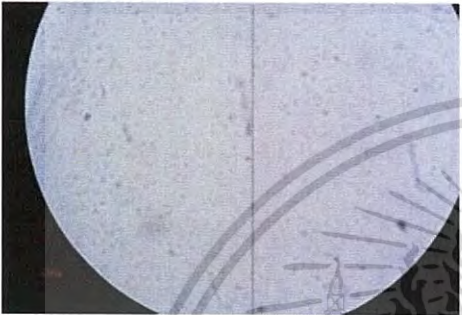
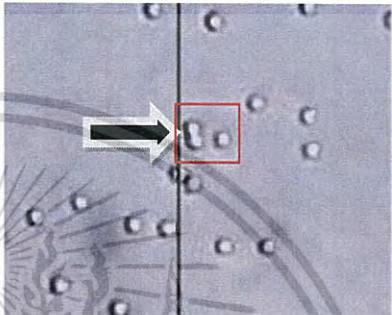

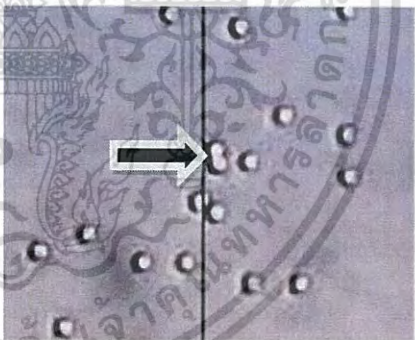
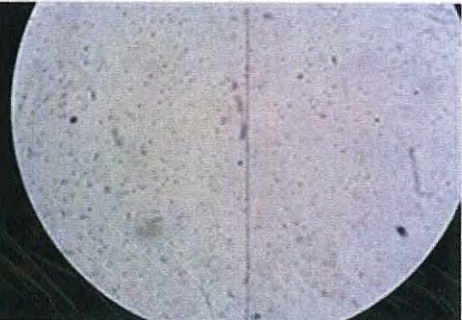
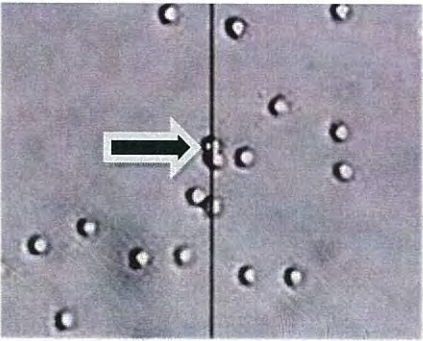
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การสังเกตการณ์เคลื่อน Piezo Stage แบบ Manual และ ผ่านโปรแกรมในแนวแกน XY

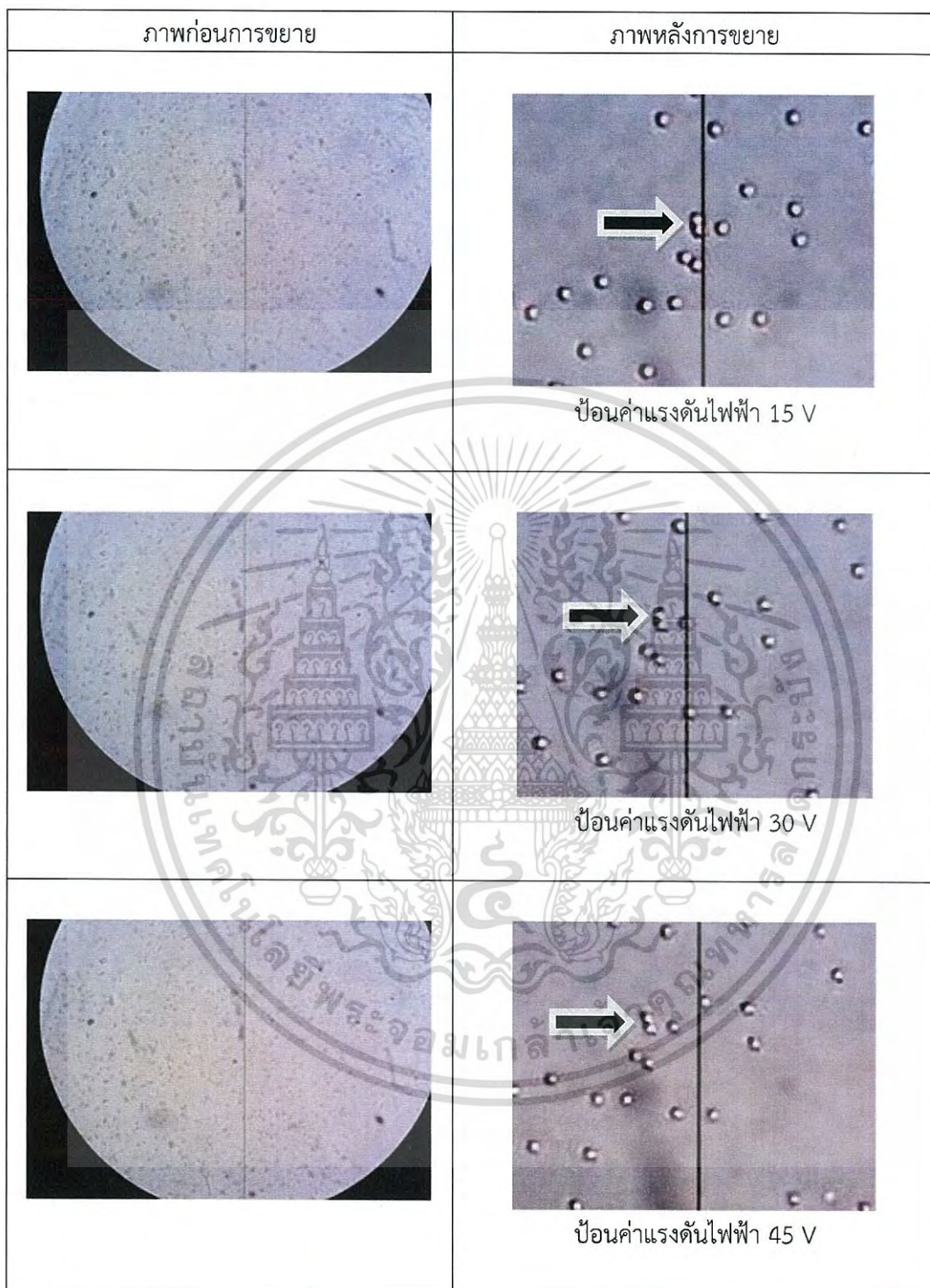
4.4.1 สังเกตการณ์เคลื่อน Piezo Stage แบบ ผ่านโปรแกรม

แกน X

การเคลื่อนตำแหน่งในแนวแกน X มีจุดสังเกต ตามแนวเส้นอ้างอิง และเส้นปะ แสดงทิศทางการเคลื่อนตำแหน่งของ Silica Beads

ภาพก่อนการขยาย	ภาพหลังการขยาย
	 <p data-bbox="662 889 1169 1017">เลือกจุดที่ต้องการสังเกต เม็ดปิด ภายในกรอบสีแดง โดยให้เส้นอ้างอิงคือ เส้นสีดำ ป้อนค่าแรงดันไฟฟ้า 0 V</p>
	 <p data-bbox="662 1421 1194 1506">เมื่อป้อนค่าแรงดันไฟฟ้า 5 V เม็ดปิด เริ่มเคลื่อนตำแหน่ง</p>
	 <p data-bbox="788 1910 1068 1940">ป้อนค่าแรงดันไฟฟ้า 10 V</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

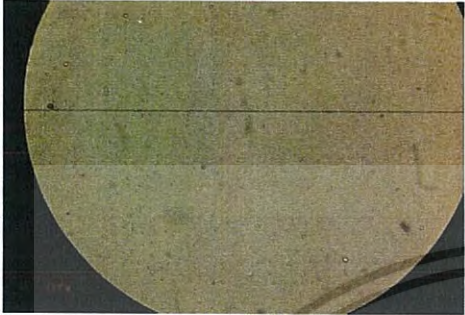
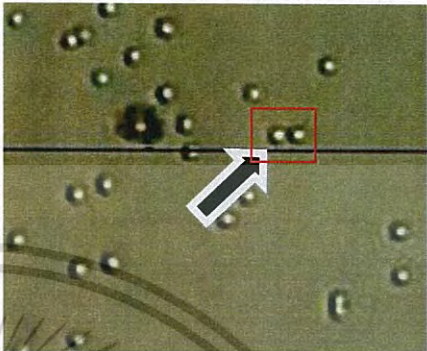

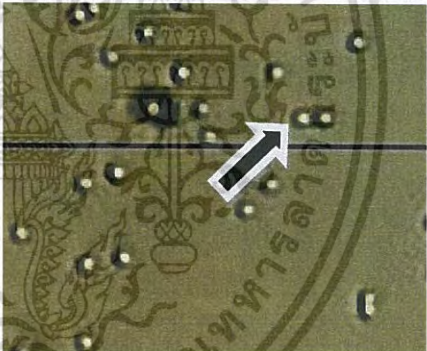

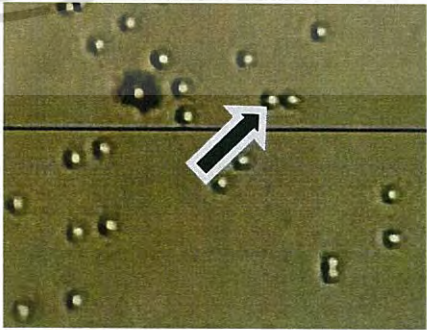


รูปที่ 4.6 แสดงภาพการเลื่อนตำแหน่ง แกน X ของ Silica Beads โดย Piezo Stage ผ่านโปรแกรม ตั้งแต่ 0V-45V

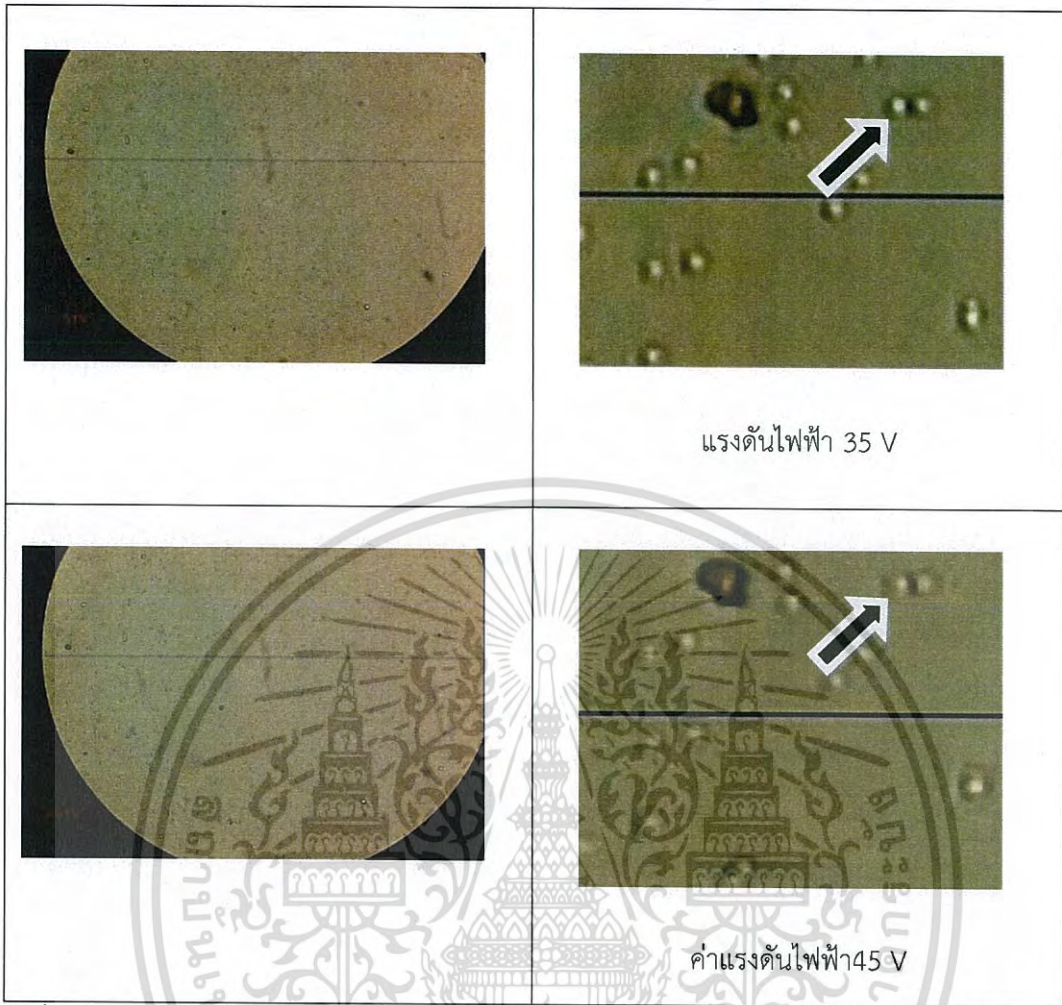
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แกน Y

การเลื่อนตำแหน่งในแนวแกน Y ที่จุดสังเกต ตามแนวเส้นอ้างอิง และเส้นปะ แสดงทิศทางการเคลื่อนตำแหน่งของ Silica Beads

ภาพก่อนขยาย	ภาพหลังขยายขยาย
	 <p data-bbox="701 815 1212 938">จุดที่ต้องการสังเกต เม็ดปัด ภายในกรอบสีแดง โดยให้เส้นอ้างอิงคือ เส้นสีดำในแนวนอน ป้อนค่าแรงดันไฟฟ้า 0 V</p>
	 <p data-bbox="862 1385 1047 1421">แรงดันไฟฟ้า 5 V</p>
	 <p data-bbox="855 1842 1054 1879">แรงดันไฟฟ้า 10 V</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงภาพการเลื่อนตำแหน่ง แกน Y ของ Silica Beads โดย Piezo Stage ผ่าน โปรแกรม ตั้งแต่ 0V-45V

4.5 ผลการทดสอบการทำงานของระบบการควบคุมตำแหน่ง Slide โดย Piezo Stage ในลักษณะเลื่อนตำแหน่งแนวแกน XY พร้อมผ่านโปรแกรม พร้อมระบบ คีมจับเชิงแสง

4.5.1 ผลทดสอบระบบคีมจับเชิงแสง



รูปที่ 4.8 แสดงภาพ การจัดระบบ Optical Tweezers อย่างง่าย

จากการทดลองการจัดอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับในการสร้าง Trap ผลที่ได้เป็นไปตามรูปที่ 4.10 โดยการวางอุปกรณ์ต่างๆ จะประยุกต์เข้ากับกล้องจุลทรรศน์แบบส่องขึ้น เหตุที่ต้องใช้ กล้องจุลทรรศน์ในการจัดอุปกรณ์นั้น เพื่อสะดวกต่อการมองภาพและการเซทระบบ สำหรับระบบนี้สร้างขึ้นเพื่อจำลอง trap โดยใช้แผ่นโพราไรซ์ในการตัดความเข้มของแสงเลเซอร์ออกเพื่อให้เห็นจุดเลเซอร์นั่นเอง

การเซทเลเซอร์นั้นจะต้องให้ลำแสงส่งไปยัง Beam Splitter โดยจัดวาง Beam Splitter ให้ลำแสงสะท้อนขึ้น ไปยัง objective lens โดยการปรับกระจกเพื่อหาระยะที่ แสงเลเซอร์เข้าไปยัง ซึ่งอาศัยการปรับกระจกจากเมาส์จับกระจก



รูปที่ 4.9 แสดงภาพการปรับกระจกเพื่อบังคับการเคลื่อนของแสงเลเซอร์

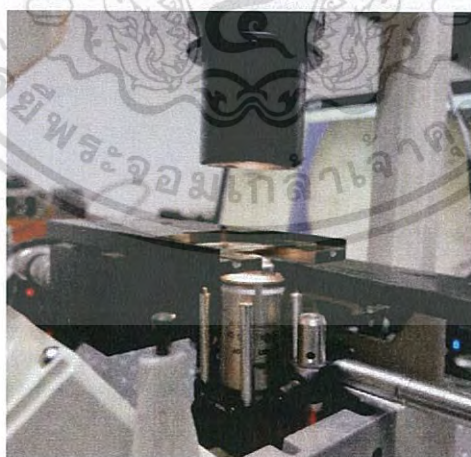
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แสดงภาพการวัดความสูงของลำแสงเลเซอร์ให้ได้อย่างเท่ากับความสูงที่จุดกึ่งกลางของ Beam Splitter



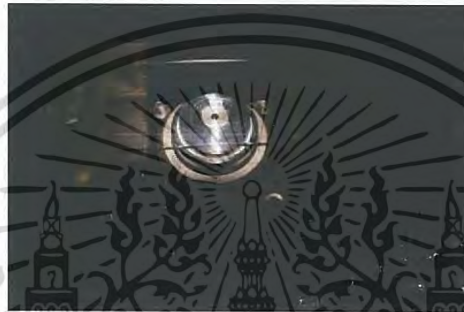
รูปที่ 4.11 แสดงภาพการจัดวาง Beam Splitter



รูปที่ 4.12 แสดงภาพการวาง Piezo Stage กับ objective lens

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.13 จะเห็นลักษณะกล้องจุลทรรศน์ที่ประยุกต์แล้ว เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการวาง objective lens 100X ระยะระหว่าง Lens กับ Piezo Stag ต้องได้ระยะความสูงที่เท่ากัน และสารที่ต้องการดูหรือจับนั้น จะต้องอยู่บนผ่านสไลด์หนาไม่เกิด 1 มิลลิเมตรเท่านั้นเนื่องจาก objective lens 100X นั้นจะต้องจุ่มน้ำมันก่อนและจะต้องอยู่ใกล้กับสารตัวอย่างเนื่องจากระยะเวลาการทำงานของอุปกรณ์สั้นมากๆ objective lens ที่มีกำลังขยาย 100X มีกำลังสูงพอและสามารถเห็นอนุภาคที่ชัดเจนสามารถระบุตำแหน่ง และ ลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคว่าไปในทิศทางใด และลักษณะจุดโฟกัสที่เกิดขึ้นแล้วยังรวมไปถึงการสังเกตระยะ การเลื่อนของ Piezo Stage ในระดับไมครอนโดยเราจะมีการจัดอุปกรณ์การมองภาพ คือ กล้อง Webcam เป็นตัวบันทึกภาพ บันทึกวิดีโอ เพราะสะดวกต่อการสังเกตการเลื่อนของ Piezo Stage ได้ชัดมากขึ้น ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.13 แสดงภาพการวาง objective lens 100X ในขณะที่หัวจุ่มน้ำมัน



รูปที่ 4.14 แสดงภาพ กล้อง Webcam สังเกตการเลื่อนตำแหน่ง

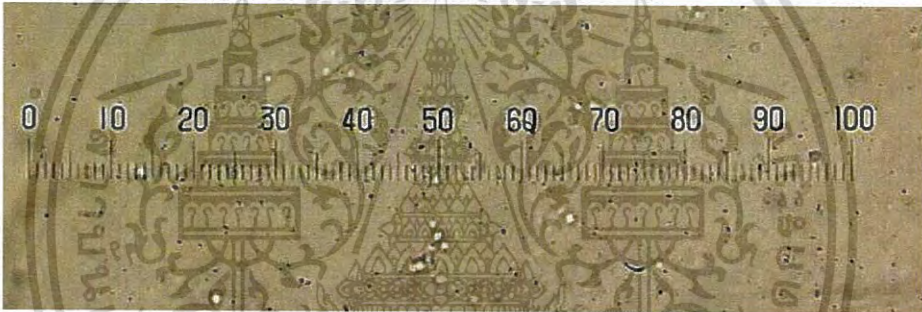
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การวัดตำแหน่งการเลื่อน Piezo Stage แบบ Manual และ ผ่านโปรแกรมในแนวแกน XY กำลังขยาย 100X

ในงานทดลองจะทดสอบระบบ แบบ Manual และผ่านโปรแกรม เพื่อวัดระยะที่ Silica Beads มีการเลื่อนตำแหน่งจากจุดสังเกต และผลที่ได้ต้องมีการสอดคล้องกับการเลื่อนตำแหน่งผ่านการป้อนแรงดันไฟฟ้า ในหน่วย μm ซึ่งวิธีการวัดนั้นเราจะใช้ ช่องสเกลจาก Ocular Micrometer เป็นจุดอ้างอิง เพื่อศึกษาการเปรียบเทียบ ระยะที่ได้จาก 2 ระบบ



รูปที่ 4.15 แสดงภาพ Ocular Micrometer



รูปที่ 4.16 แสดงภาพ สเกลที่กำลังขยาย 10X

เมื่อขยาย สเกล Ocular Micrometer ด้วยกำลังขยาย 10X จะมีช่องสเกลทั้งหมด 100 ช่อง ซึ่งแต่ละช่องไม่ทราบว่ามีเท่าไรดังนั้นจึงทำการหาขนาดโดยการวัด แบบ Manual



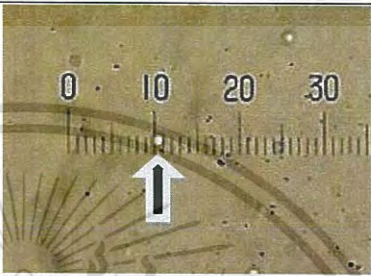

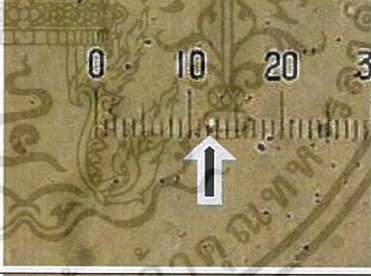
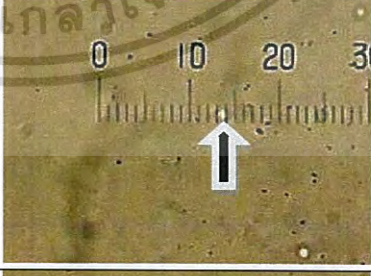
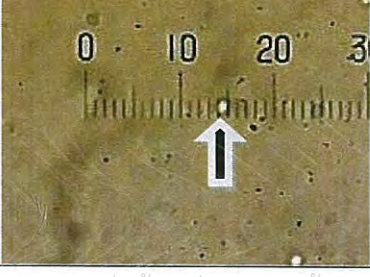
รูปที่ 4.17 แสดงภาพ การปรับไมโครมิเตอร์ของ Piezo Stage ซึ่งมี สเกลหลัก 4 mm สเกลไมโครมิเตอร์ 50 ช่อง ช่องละ 1 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

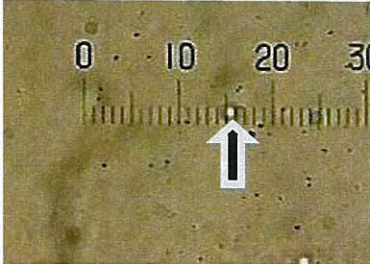
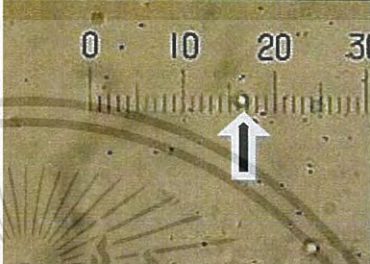
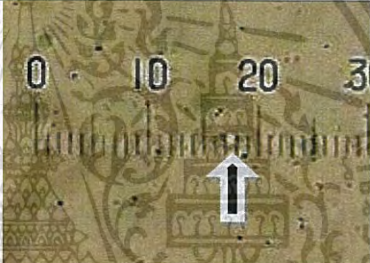
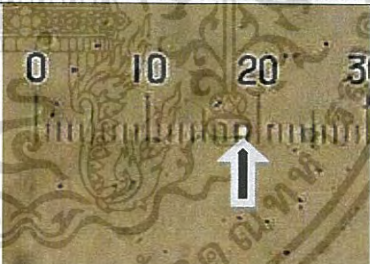
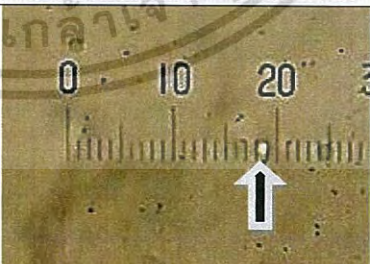
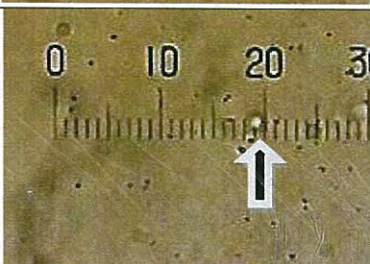
4.6.1 การวัดตำแหน่งการเลื่อน Piezo Stage แบบ Manual 0-20 ไมโครเมตร

การวัดตำแหน่งการเลื่อนของ Piezo Stage ร่วมกับระบบของกล้องจุลทรรศน์ โดยการจัดวาง Ocular Micrometer เข้ากับเลนส์ใกล้ตาของกล้องจุลทรรศน์ ซึ่งมีกำลังขยาย 10X ในทิศแกน X จากนั้นใช้เลนส์ใกล้วัตถุขนาดกำลังขยาย 100X ในการสังเกตการณ์เลื่อนตำแหน่งของเม็ดบีดทั้งสอง แกน โดยทำการปรับไมโครมิเตอร์ให้มีค่าเพิ่มขึ้นทีละ 2 ไมโครเมตร

รูปที่ 4.18 แสดงภาพ การใช้ เม็ดบีดวัดขนาดช่อง Ocular Micrometer ในแนวแกน X

ระยะการหมุน (ไมโครเมตร)	รูประยะการหมุนแกน X
0 ไมโครเมตร	
2 ไมโครเมตร	
4 ไมโครเมตร	
6 ไมโครเมตร	
8 ไมโครเมตร	

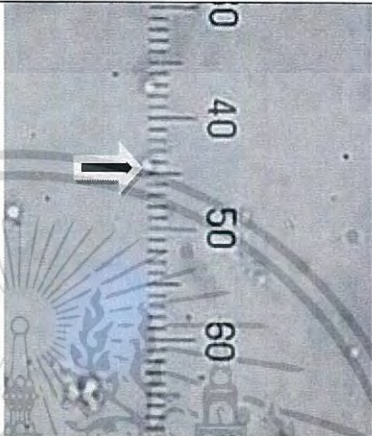

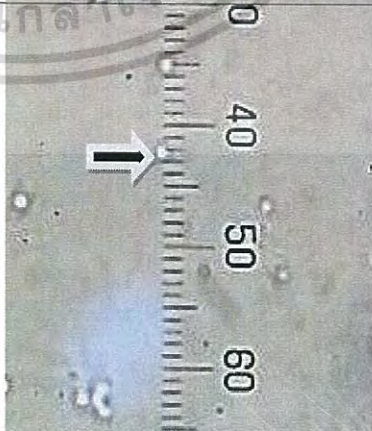
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะการหมุน (ไมโครเมตร)	รูประยะการหมุนแกน X
10 ไมโครเมตร	
12 ไมโครเมตร	
14 ไมโครเมตร	
16 ไมโครเมตร	
18 ไมโครเมตร	
20 ไมโครเมตร	

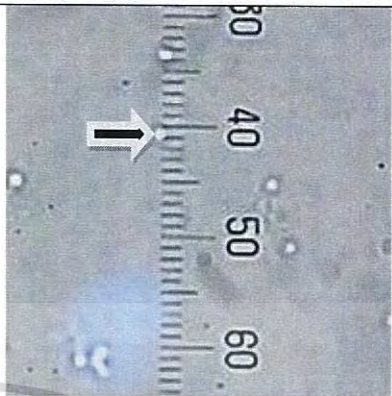
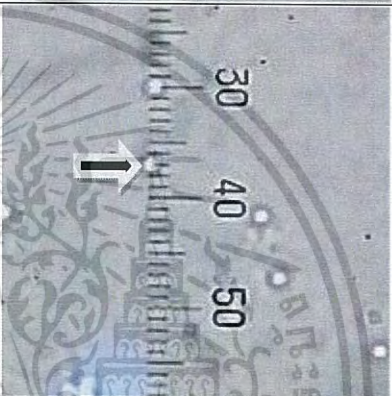
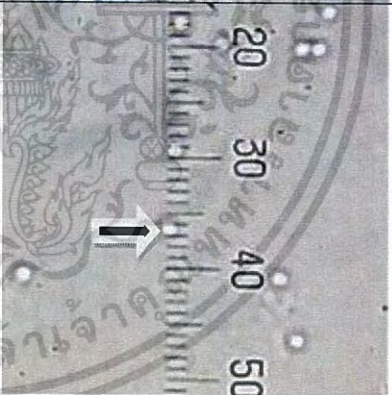
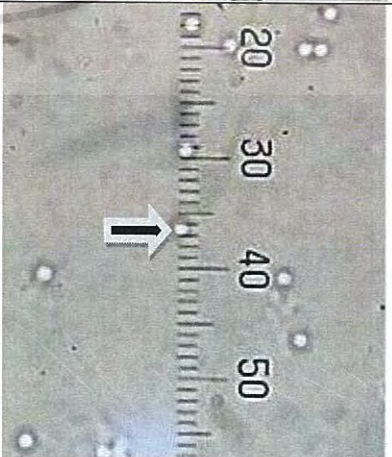
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดตำแหน่งการเลื่อนของ Piezo Stage ร่วมกับระบบของกล้องจุลทรรศน์ โดยการจัดวาง Ocular Micrometer เข้ากับเลนส์ใกล้ตาของกล้องจุลทรรศน์ ซึ่งมีกำลังขยาย 10X ในทิศแกน Y จากนั้นใช้เลนส์ใกล้วัตถุขนาดกำลังขยาย 100X ในการสังเกตการณ์เลื่อนตำแหน่งของเม็ดบีตทั้งสอง แกน โดยทำการปรับไมโครมิเตอร์ให้มีค่าเพิ่มทีละ 2 ไมโครเมตร

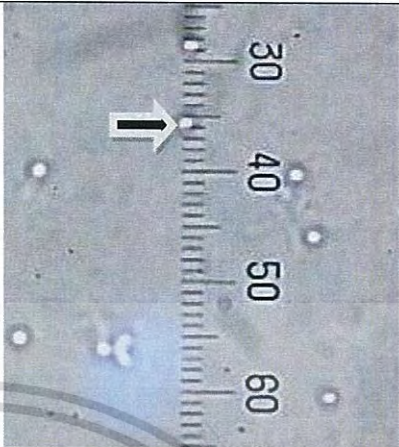
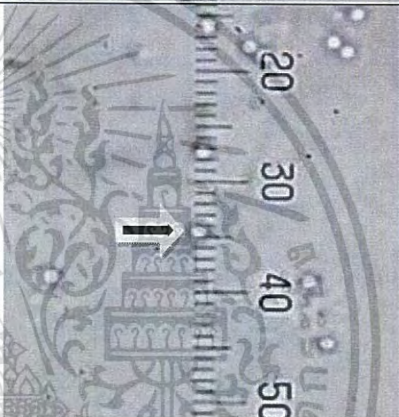
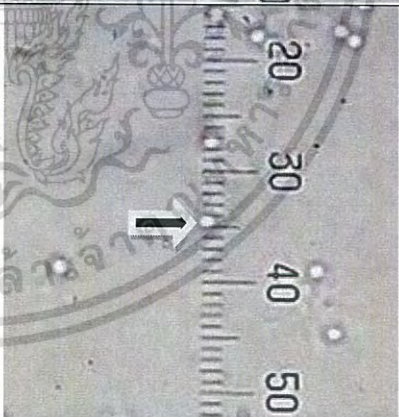
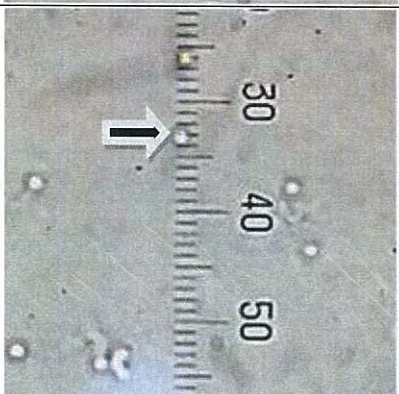
รูปที่ 4.19 แสดงภาพ การใช้ เม็ดบีตวัดขนาดช่อง Ocular Micrometer ในแนวแกน Y

ระยะการหมุน (ไมโครเมตร)	รูประยะการหมุนแกน Y
0 ไมโครเมตร	
2 ไมโครเมตร	
4 ไมโครเมตร	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะการหมุน (ไมโครเมตร)	รูประยะการหมุนแกน Y
6 ไมโครเมตร	
8 ไมโครเมตร	
10 ไมโครเมตร	
12 ไมโครเมตร	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

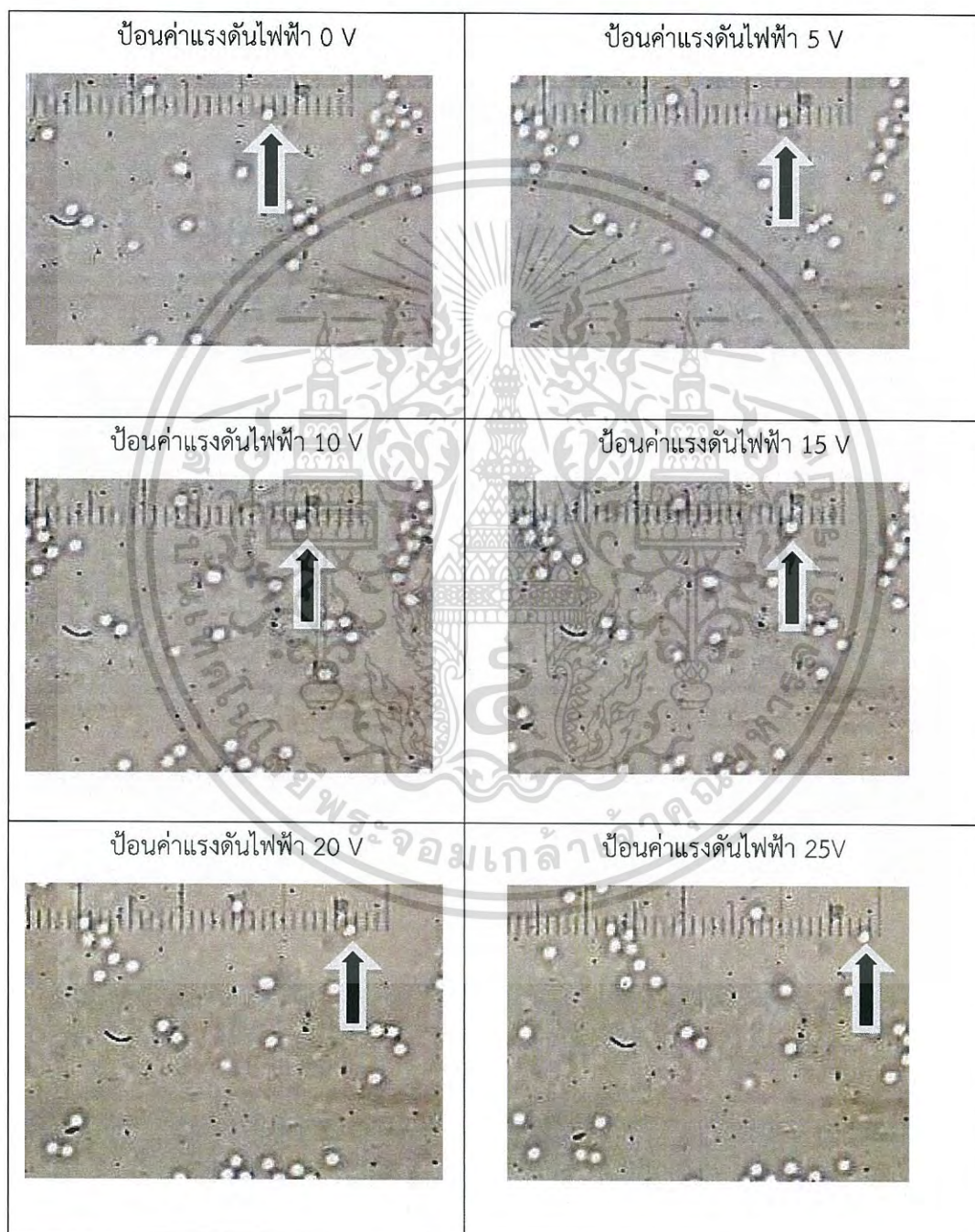
ระยะการหมุน (ไมโครเมตร)	รูประยะการหมุนแกน Y
14 ไมโครเมตร	
16 ไมโครเมตร	
18 ไมโครเมตร	
20 ไมโครเมตร	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

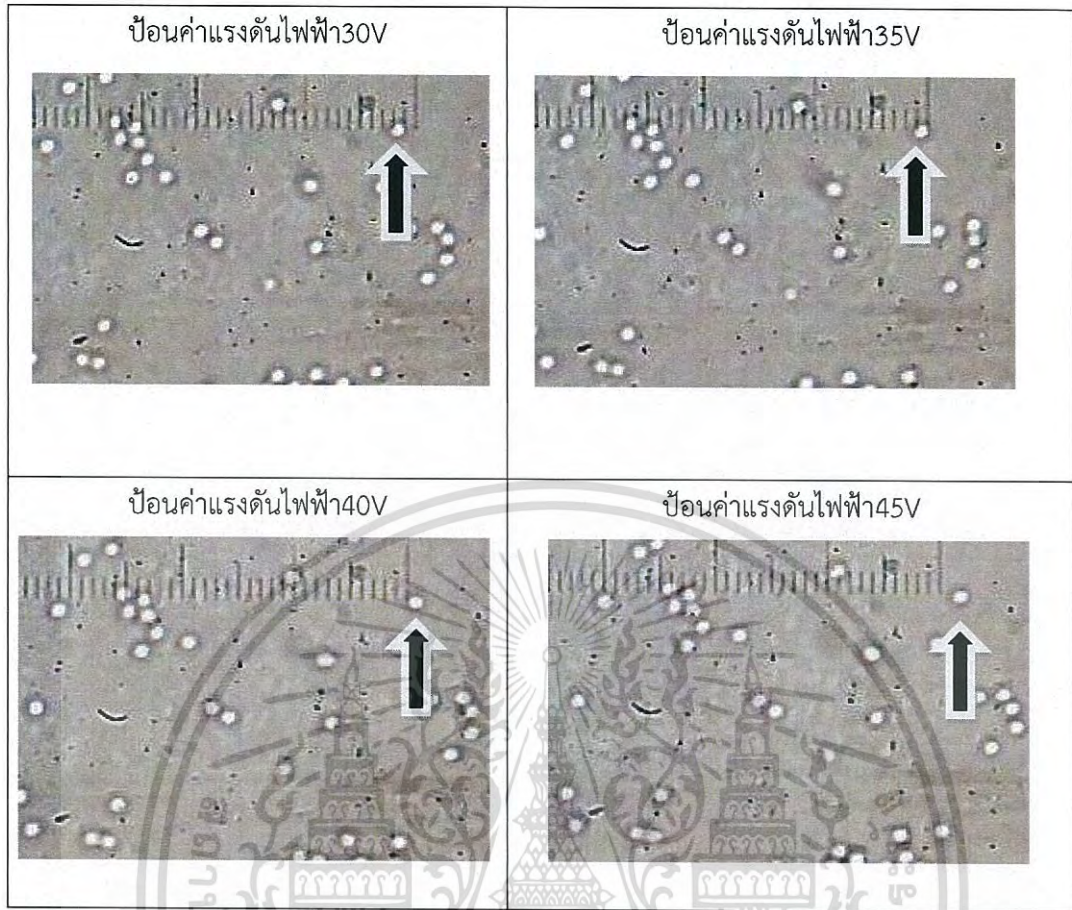
4.6.2 การวัดตำแหน่งการเลื่อน Piezo Stage แบบ ผ่านโปรแกรม 0-45 V

การวัดตำแหน่งการเลื่อน Piezo Stage แบบ ผ่านโปรแกรมโดยจะทำการป้อนค่าแรงดันไฟฟ้า ตั้งแต่ 0-45 V เพื่อสังเกตการเลื่อนตำแหน่งที่เพิ่มขึ้นทีละ 5 V อย่างต่อเนื่องซึ่งจะทำการจัดวางเม็ด บีดให้มีขนาดตรงกับช่องของสเกล Ocular Micrometer ในแนวแกน X จากนั้นทำการสังเกตการ เลื่อนตำแหน่งของเม็ดบีดเมื่อมีการป้อนแรงดันไฟฟ้า

แกน X



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

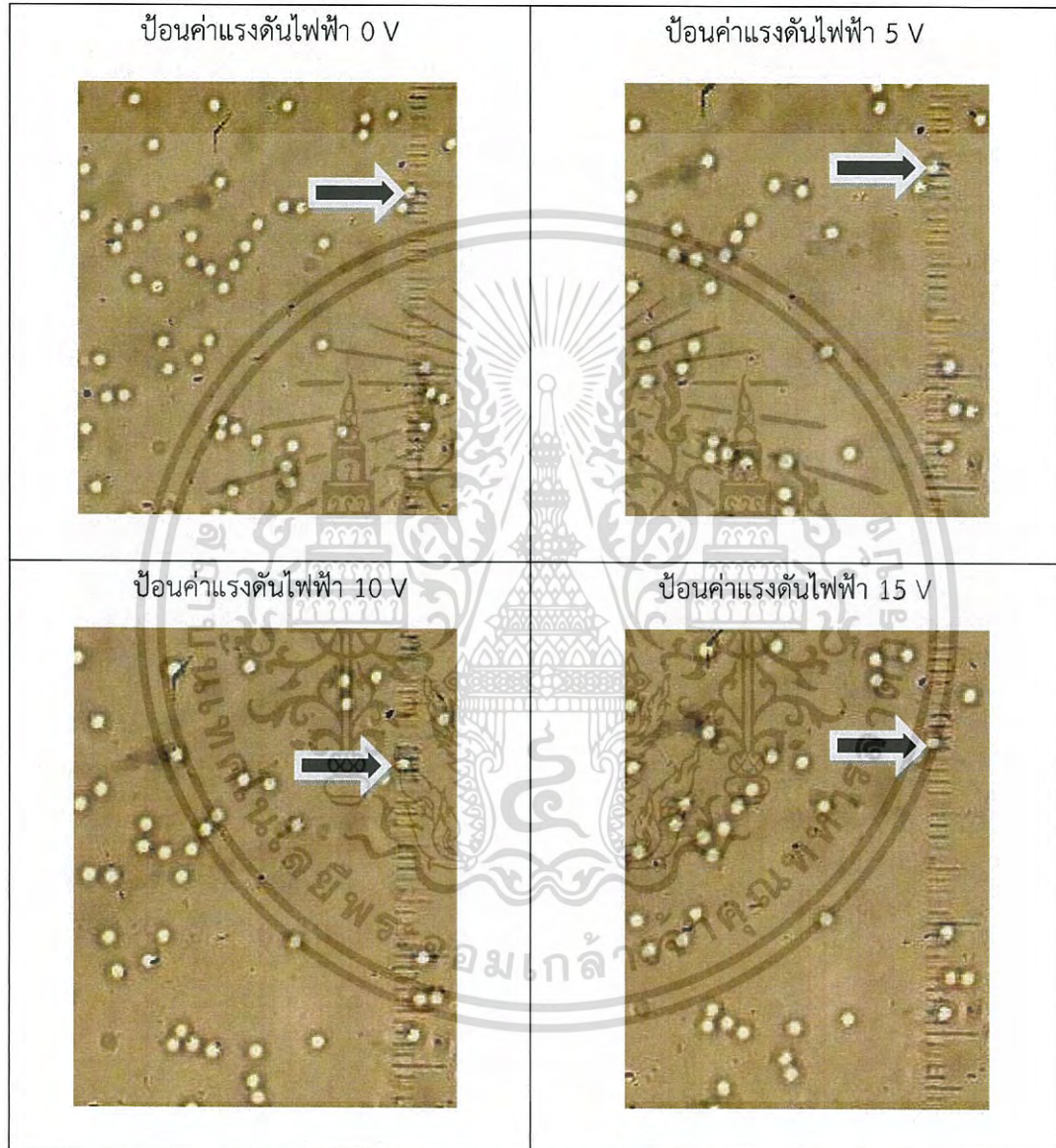


รูปที่ 4.20 แสดงภาพการเลื่อนตำแหน่งในแนวแกน X ของ Silica Beads แบบโปรแกรมขณะปิดเลเซอร์

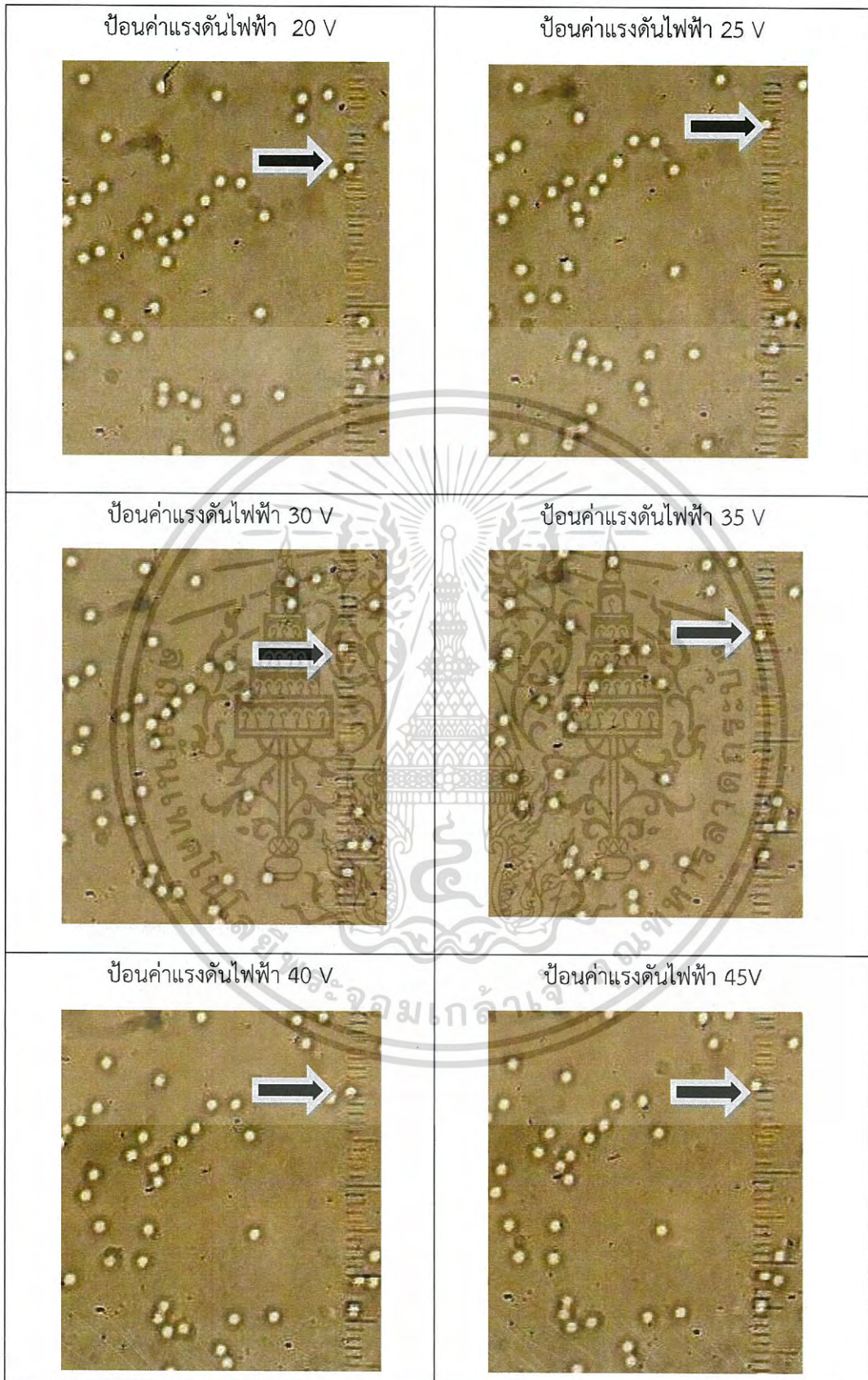
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดตำแหน่งการเลื่อน Piezo Stage แบบ ผ่านโปรแกรมโดยจะทำการป้อนค่าแรงดันไฟฟ้า ตั้งแต่ 0-45 V เพื่อสังเกตการเลื่อนตำแหน่งที่เพิ่มขึ้นทีละ 5 V อย่างต่อเนื่องซึ่งจะทำการจัดวางเม็ด บีดให้มีขนาดตรงกับช่องของสเกล Ocular Micrometer ในแนวแกน Y จากนั้นทำการสังเกตการ เลื่อนตำแหน่งของเม็ดบีดเมื่อมีการป้อนแรงดันไฟฟ้า

แกน Y



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 แสดงภาพการเลื่อนตำแหน่งในแนวแกน Y ของ Silica Beads แบบโปรแกรม ขณะปิด เลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.3 ตารางการเปรียบเทียบ แบบ Manual และ ผ่านโปรแกรม

ผลจากการเลื่อน Piezo Stage เมื่อเทียบกันระหว่าง 2 ระบบ ทราบว่า ที่แรงดัน 5 V Piezo Stage เลื่อนได้ 2 ไมโครเมตร ดังนั้นที่แรงดัน 1 V Piezo Stage เลื่อนได้ 0.4 ไมโครเมตร

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบ แบบ Manual และ ผ่านโปรแกรม

Manual		Program		
X (ไมโครเมตร)	Y (ไมโครเมตร)	Voltage (V)	X (ไมโครเมตร)	Y (ไมโครเมตร)
0	0	0	0	0
1	1	1	0.4	0.4
2	2	2	0.8	0.8
3	3	3	1.2	1.2
4	4	4	1.6	1.6
5	5	5	2	2
6	6	6	2.4	2.4
7	7	7	2.8	2.8
8	8	8	3.2	3.2
9	9	9	3.6	3.6
10	10	10	4	4
11	11	11	4.4	4.4
12	12	12	4.8	4.8
13	13	13	5.2	5.2
14	14	14	5.6	5.6
15	15	15	6	6
16	16	16	6.4	6.4
17	17	17	6.8	6.8
18	18	18	7.2	7.2
19	19	19	7.6	7.6
20	20	20	8	8
21	21	21	8.4	8.4
22	22	22	8.8	8.8

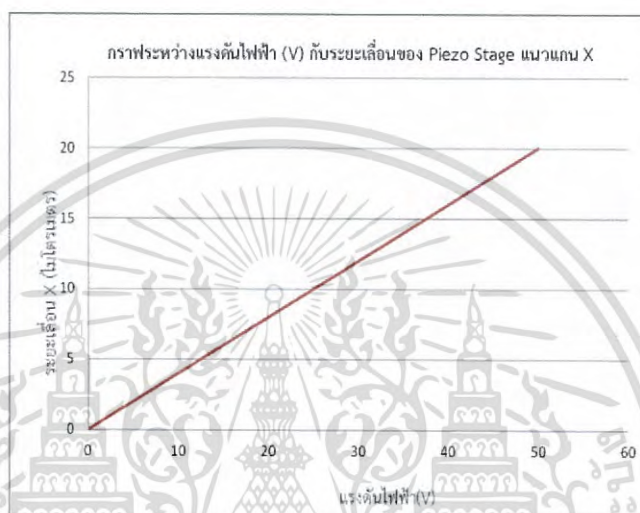
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Manual		Program		
X (ไมโครเมตร)	Y (ไมโครเมตร)	Voltage (V)	X (ไมโครเมตร)	Y (ไมโครเมตร)
23	23	23	9.2	9.2
24	24	24	9.6	9.6
25	25	25	10	10
26	26	26	10.4	10.4
27	27	27	10.8	10.8
28	28	28	11.2	11.2
29	29	29	11.6	11.6
30	30	30	12	12
31	31	31	12.4	12.4
32	32	32	12.8	12.8
33	33	33	13.2	13.2
34	34	34	13.6	13.6
35	35	35	14	14
36	36	36	14.4	14.4
37	37	37	14.8	14.8
38	38	38	15.2	15.2
39	39	39	15.6	15.6
40	40	40	16	16
41	41	41	16.4	16.4
42	42	42	16.8	16.8
43	43	43	17.2	17.2
44	44	44	17.6	17.6
45	45	45	18	18
46	46	46	18.4	18.4
47	47	47	18.8	18.8
48	48	48	19.2	19.2
49	49	49	19.6	19.6
50	50	50	20	20

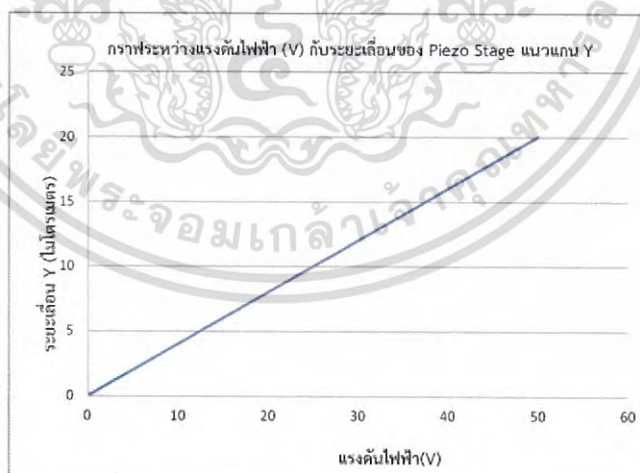
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.4 เขียนกราฟระหว่างระยะเลื่อนตำแหน่ง piezo stage แบบผ่านโปรแกรมกับค่าแรงดันไฟฟ้า

จากตารางที่ 4.1 แสดงค่าวัดระยะการเลื่อนตำแหน่งที่เกิดจากการเปรียบเทียบแบบ 2 ระบบ คือ วัดค่า โดยการปรับไมโครมิเตอร์ เพื่อหาระยะที่สามารถเลื่อนตำแหน่ง Piezo Stage ด้วยการป้อนแรงดันไฟฟ้าได้จากการอ่านช่องสเกล Ocular Micrometer จากนั้นนำมาเขียนกราฟเพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับ Piezo Stage และเป็นผลให้เกิดระยะการเลื่อน



รูปที่ 4.22 แสดงการเขียนกราฟการเลื่อนตำแหน่ง Piezo Stage แบบผ่านโปรแกรมโดยการป้อนแรงดันไฟฟ้า ตั้งแต่ 0-50 V ในแนวแกน X

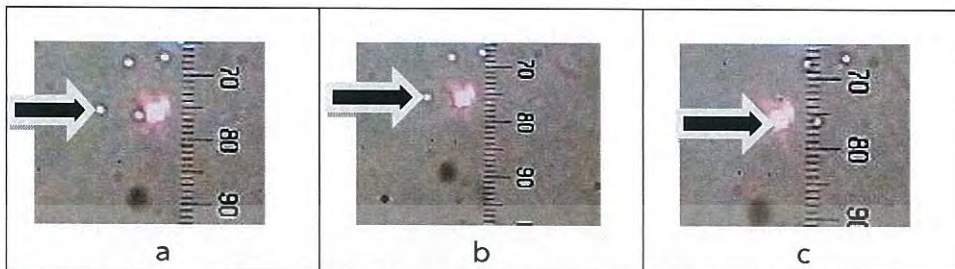


รูปที่ 4.23 แสดงการเขียนกราฟการเลื่อนตำแหน่ง Piezo Stage แบบผ่านโปรแกรมโดยการป้อนแรงดันไฟฟ้า ตั้งแต่ 0-50 V ในแนวแกน Y

4.7 ผลทดสอบการวัดระยะระหว่างเม็ดปิดกับจุดโฟกัสแสงเลเซอร์

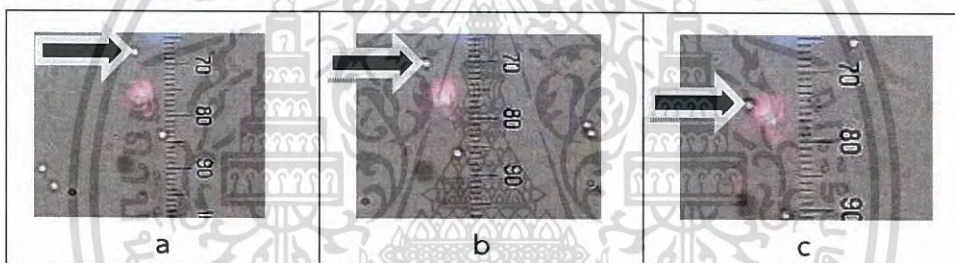
การวัดระยะห่างระหว่างเม็ดปิดกับจุดโฟกัสแสงเลเซอร์นั้นเพื่อสังเกต การเลื่อนตำแหน่งของเม็ดขณะที่เปิดแสงเลเซอร์

4.7.1 วัดระยะในแนวแกน X



รูปที่ 4.24 แสดงภาพ a) สังเกตเม็ดปิดที่หัวลูกศรสีขาว วัดระยะห่างได้ 16 ไมโครเมตร จากจุดกึ่งกลางเลเซอร์ ที่ 0 V b) ภาพระยะห่างจากจุดเลเซอร์วัดได้ 4.8 ไมโครเมตร ที่ 12 V และ c) ภาพจุดสังเกตว่าเม็ดปิด ที่วัดหายเข้าไปยังแสงเลเซอร์ ที่ 40 V

4.7.2 วัดระยะในแนวแกน Y



รูปที่ 4.25 แสดงภาพ a) สังเกต เม็ดปิดที่หัวลูกศรสีขาว วัดระยะห่างได้ 12 ไมโครเมตร จากจุดกึ่งกลางเลเซอร์ ที่ 0 V b) ภาพระยะห่างจากจุดเลเซอร์วัดได้ 6 ไมโครเมตร ที่ 15 V c) ระยะห่างจากจุดเลเซอร์วัดได้ 1.2 ไมโครเมตร ขณะเลื่อนแกน Y ที่ 30 V

จากรูปที่ 4.24 และ 4.25 พบว่าเมื่อเม็ดปิดเคลื่อนที่ใกล้เข้าจุดโฟกัสแสงเลเซอร์ ไม่เกิดแรงปฏิกิริยากับเม็ดปิดซึ่งอยู่ในกรณีที่เราเรียกว่าสถานะที่ยังไม่สามารถจับอนุภาคได้เนื่องจากผู้ทำการทดลองทำการลดความเข้มแสงเลเซอร์ลงจากการใส่ แผ่นโพลารอยด์เพื่อให้เกิดจุดโฟกัสและสามารถวัดระยะห่างได้

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการดำเนินงานวิจัยโครงการพิเศษได้ทำ การเขียนโปรแกรม LabVIEW เพื่อเลื่อน Piezo Stage ผ่านการเชื่อมต่อกับ RS232 กับ เครื่อง 3 AXIS PIEZO CONTROLLER ที่เป็นแหล่งจ่าย แรงดันส่งให้กับ Piezo Stage ขยับตามการป้อนแรงดันผ่านโปรแกรม LabVIEW จากการทดลองทำให้ทราบว่า ที่ แรงดัน 5 V Piezo Stage เลื่อนได้ระยะ 2 ไมโครเมตร ซึ่งสามารถทราบว่า Piezo Stage มีความละเอียดในการเลื่อน 0.4 ไมโครเมตร ระยะเลื่อนสูงสุด 4 mm ตามการปรับ ไมโครมิเตอร์ของ Piezo Stage จากการทดสอบของระบบแบบ Manual กับช่อง สเกลของ Ocular Micrometer

ในส่วนของการเซาระบบคีมจับเชิงแสงอย่างง่าย โดยจัดเพื่อศึกษาระบบภาพ โดยการใช้เลนส์ ใกล้เคียงขนาด 100X ที่ใช้ในการรวมแสงเลเซอร์ให้เกิดการโฟกัสที่แผ่นสไลด์ และสามารถสังเกตการ กระจายตัวของสารตัวอย่างที่นำมาศึกษาและเหตุผลหลักเพื่อสังเกตการเลื่อนระยะของ Piezo Stage ได้อย่างละเอียดผ่านการบันทึกภาพจากกล้อง Webcam โดยในที่นี้สังเกตภาพจากระบบแบบไม่เปิด แสงเลเซอร์และขณะเปิดแสงเลเซอร์ ระบบภาพที่ได้มีความต่างกันเนื่องจาก การกระตัวของแสง เลเซอร์ที่จุดโฟกัส การทดลองนี้พบว่า แสงเลเซอร์ที่เซาระบบนั้นไม่เพียงพอต่อการเกิดแรงดึง อนุภาคเข้าไปยัง Trap เพราะได้ทำการลดความเข้มแสงเลเซอร์นั่นเอง

5.2 ข้อเสนอแนะ

การเขียนโปรแกรม Lab VIEW เพื่อควบคุมการเลื่อนตำแหน่งจุดโฟกัสของแสงเลเซอร์ผ่าน Piezo Stage โดยการป้อน ค่าแรงดันไฟฟ้า และการทดสอบระบบการเลื่อนตำแหน่ง Piezo Stage ในลักษณะแกน XY จากการเซาระบบคีมจับเชิงแสงอย่างง่ายนั้น เป็นเป้าหมายหลักของโครงการ พิเศษนี้ เนื่องจากประสบความสำเร็จในการเขียนโปรแกรม ในการเลื่อนตำแหน่งแล้วจึงนำไปสู่การ สร้างระบบคีมจับเชิงแสงที่มีการเลื่อนตำแหน่งหาจุดโฟกัสโดยอัตโนมัติ เนื่องจากมีความละเอียดใน ระดับ ไมคอน จึงนำไปสู่การวางแผนในการสร้างอุปกรณ์คีมจับเชิงแสงที่มีการใช้งานได้จริงและสร้าง ผลงานที่มีประสิทธิภาพทางการศึกษาต่อไป ซึ่งผู้ทดลองจะคำนึงถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองโดย การใช้กล้องจุลทรรศน์เพื่อให้สะดวกต่อการศึกษาต่อทางด้านชีววิทยาอาทิเช่นในเรื่องของการศึกษา การตรวจหาเซลล์มะเร็ง และการถอดรหัส DNA เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ashkin, A., Dziedzic, J. M., Bjorkholm, J. E., and Chu, S. Observation of a single-beam Gradient force optical trap for dielectric particles. Opt.Lett. 11, 288*290 (1986).
- [2] Ashkin, A. History of optical trapping and manipulation of small-neutral particle, atoms, and molecules. IEEE J. Sel. Top. Quantum Elec. 6, 841*856 (2000).
- [3] Grier, D. G. A revolution in optical manipulation. Nature 424, 810-816(2003).
- [4] Kerker, M. The Scattering of Light and other Electromagnetic Radiation (Academic, New York, 1969).
- [5] Tlusty, T., Meller, A., and Bar-Ziv, R. Optical Gradient force s of strongly localized fields. Phys. Rev. Lett. 81, 1738-1741 (1998).
- [6] Ashkin, A. Forces of a single-beam gradient laser trap on a dielectric sphere in the Ray optics regime. Biophys. J. 61, 569*582 (1992).
- [7] วารสารฟิสิกส์ไทย ปีที่ 28 ฉบับที่ 4 ธันวาคม 2554 – กุมภาพันธ์ 2555
- [8] คีมจับเชิงแสงอย่างง่ายสำหรับห้องปฏิบัติการ นายธรรมรัตน์ แต่งตั้ง คณะวิทยาศาสตร์
- [9] Manipulate DNA and RNA (www.stanford.edu/group/blocklab/RNAP.html)
- [10] G. M. Gibson,¹ R. W. Bowman,¹ A. Linnenberger,² M. Dienerowitz,¹ D. B. Phillips,³ D. M. Carberry,³ M. J. Miles,³ and M. J. Padgett
- [11] Online.file:///C:/Users/home/Pictures/piezo-02.pdf
- [12] MAX300 Series NanoMax 3-Axis Flexure Stage www.thorlabs.com



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.

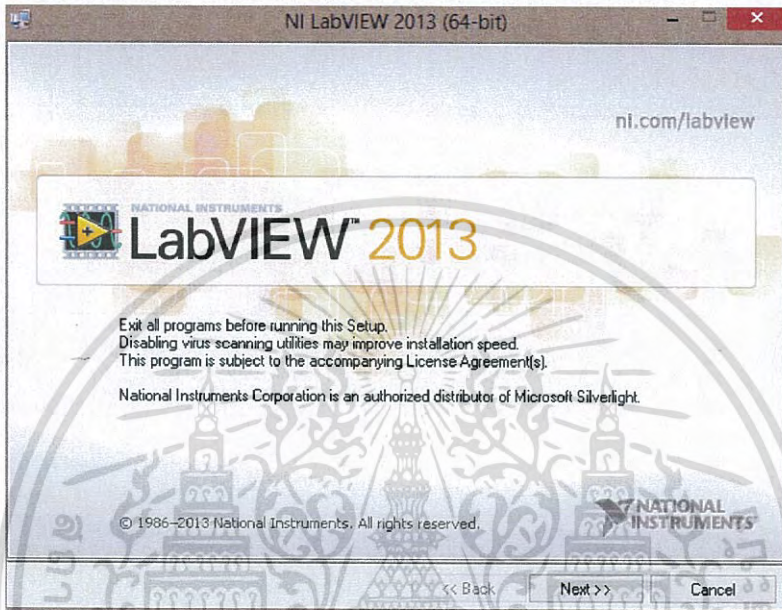
ขั้นตอนและวิธีการติดตั้ง LabVIEW 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรม LabVIEW

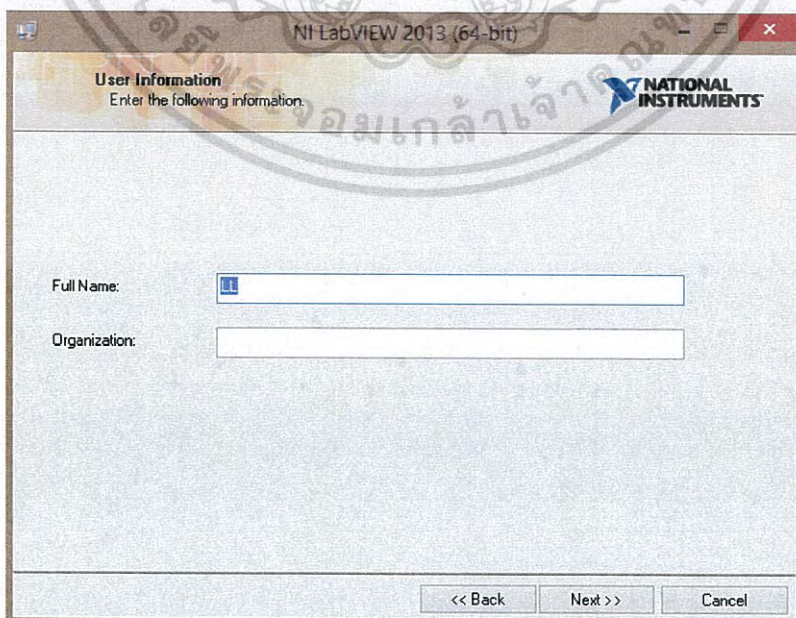
โปรแกรม LabVIEW ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเวอร์ชัน 2013 ซึ่งมีขั้นตอนในการติดตั้งโปรแกรมดังกล่าวต่อไปนี้

1. เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนลงโปรแกรม LabVIEW 2013 ให้ทำการคลิกที่ Next เพื่อเริ่มขั้นตอนการลงโปรแกรม



รูปที่1 แสดงหน้าต่างเริ่มต้นการติดตั้งโปรแกรม LabVIEW 2013

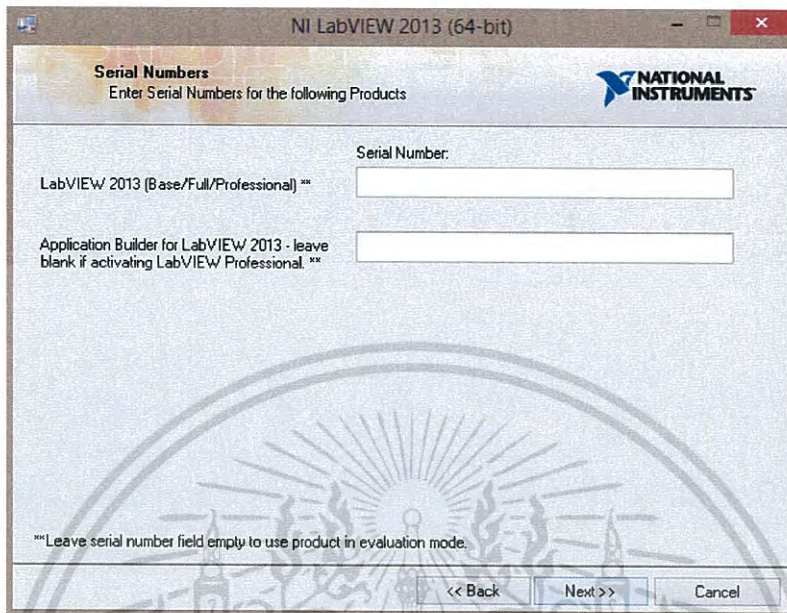
2. หลังจากคลิก Next และจะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 2 ซึ่งหน้าต่างนี้ผู้ใช้จะต้องทำการกรอกข้อมูลคือ Full Name และ Organization ให้ครบ แล้วคลิกที่ Next



รูปที่2 แสดงหน้าต่างการกรอกข้อมูล Full Name และ Organization

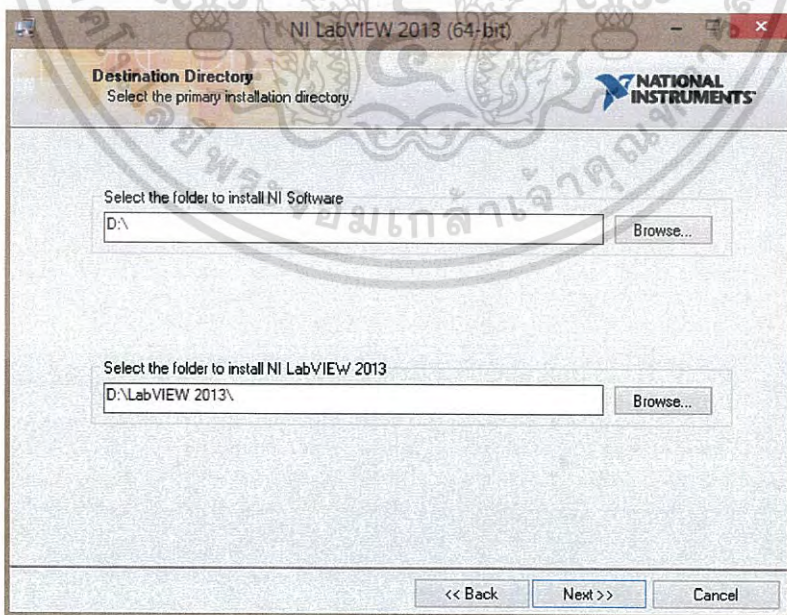
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หลังจากนั้นคลิก Next ในขั้นตอน 2 แล้ว จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 3 ซึ่งหน้าต่างนี้ ทำการกรอก Serial Number ถ้าในกรณีไม่มี Serial Number ผู้ใช้สามารถทดลองใช้งานได้ 30 วัน



รูปที่ 3 แสดงหน้าต่างการกรอกข้อมูล Serial Number

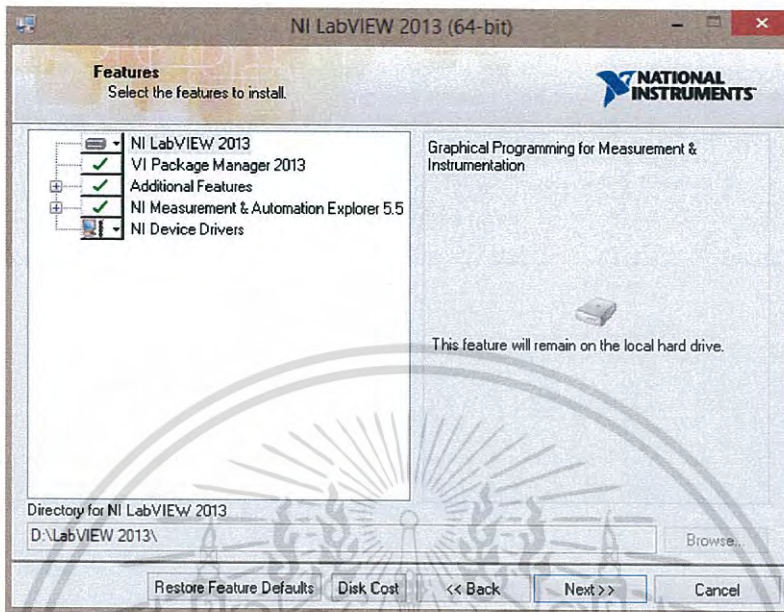
4. หลังจากคลิก Next ในขั้นตอนที่ 3 จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 4 ซึ่งหน้าต่างนี้ ผู้ใช้จะต้องเลือกที่ที่จะติดตั้งโปรแกรม ปกติแล้วให้คลิก Next ได้เลย



รูปที่ 4 แสดงหน้าต่างการเลือกที่ติดตั้งโปรแกรม LabVIEW

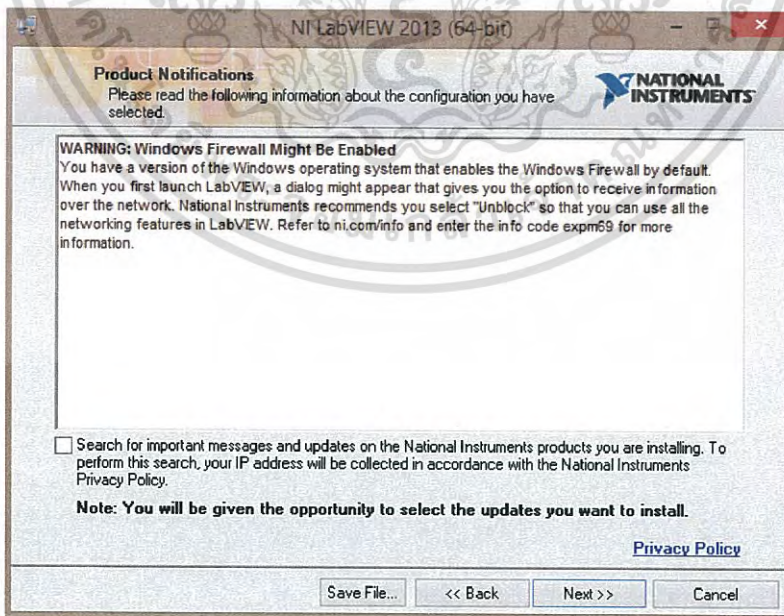
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. หลังจากคลิกที่ Next ในขั้นตอนที่ 4 แล้ว จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 5 ซึ่งหน้าต่างนี้ดังรูปที่ 5 ซึ่งหน้าต่างนี้จะใช้ผู้ใช้ทำการเลือก Features ที่จะลงหรือไม่ลงตัวไหน แล้วคลิกที่ Next



รูปที่ 5 แสดงหน้าต่างการเลือก Features ของโปรแกรม LabVIEW

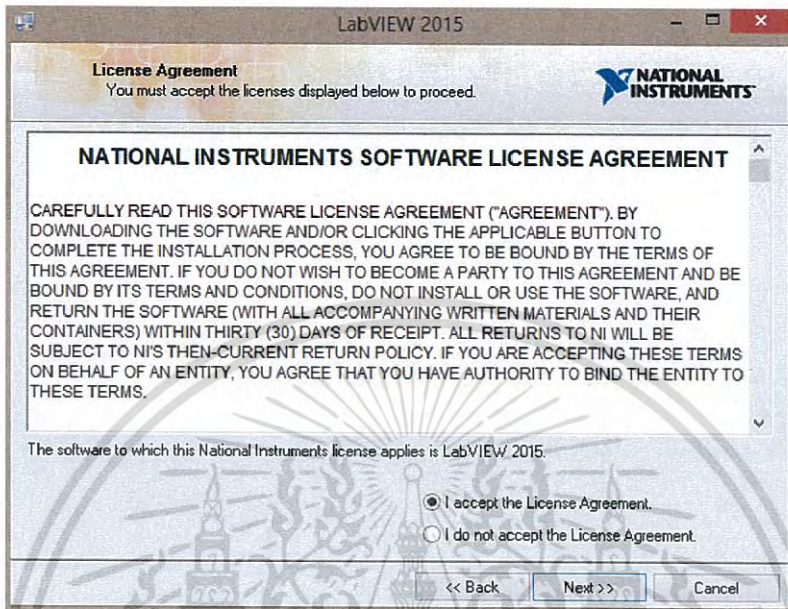
6. หลังจากคลิก Next ในขั้นตอนที่ 5 จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 6 ซึ่งหน้าต่างนี้ จะเป็นการเชื่อมต่อกับบริษัท National Instrument เพื่อแจ้งถึงการอัปเดตต่างๆของผลิตภัณฑ์ของ NI ซึ่งถ้าไม่จำเป็นแนะนำให้เอาเครื่องหมายติ๊กถูกออก แล้วคลิกที่ Next



รูปที่ 6 แสดงหน้าต่างความต้องการทราบถึงการอัปเดตผลิตภัณฑ์ของ NI

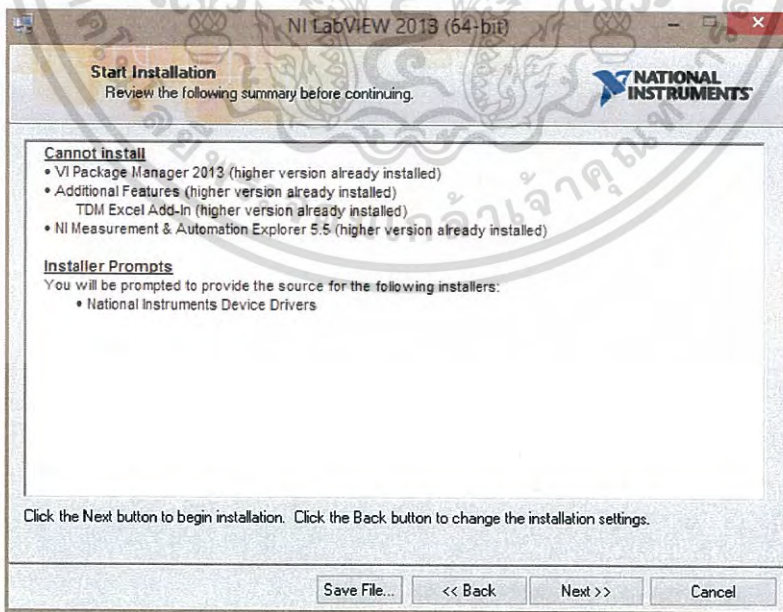
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. หลังจากคลิก Next ในขั้นตอนที่ 6 จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 7 ซึ่งหน้าต่างนี้ จะเป็นการถามเกี่ยวกับเรื่องการยอมรับเงื่อนไขเรื่องลิขสิทธิ์ ผู้ใช้จะต้องเลือก I accept above 2 License Agreement(s). แล้วคลิก Next



รูปที่ 7 แสดงหน้าต่างเงื่อนไขลิขสิทธิ์

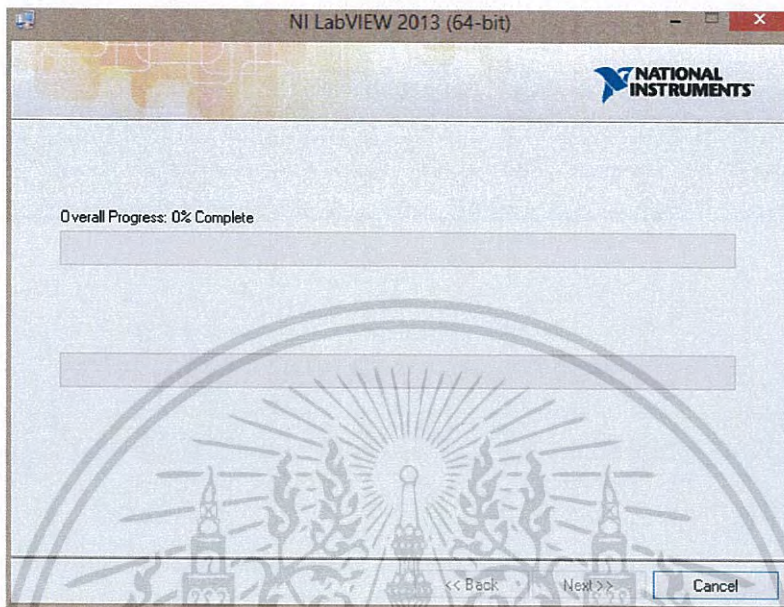
8. หลังจากคลิก Next ในขั้นตอนที่ 7 จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 8 ซึ่งหน้าต่างนี้ จะเป็นการแจ้งการเริ่มต้นการติดตั้งโปรแกรมอะไรที่ลงไปแล้วบ้าง แล้วคลิกที่ Next



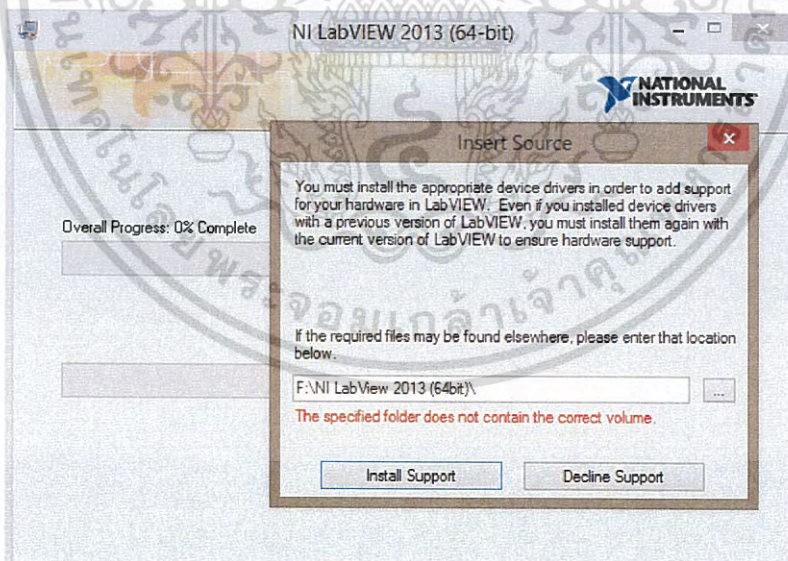
รูปที่ 8 แสดงหน้าต่างการแจ้งเริ่มต้นของการติดตั้งโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. โปรแกรมจะเริ่มค้นติดตั้งหน้าต่างที่แสดงดังรูปที่ 9 เมื่อโปรแกรมติดตั้งเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะมีการเรียกหา Device Drivers ดังนั้นหน้าต่างที่ปรากฏดังรูปที่ 10 ในกรณีนี้ให้คลิกที่ Decline Support เนื่องจากไม่มี Device Drivers



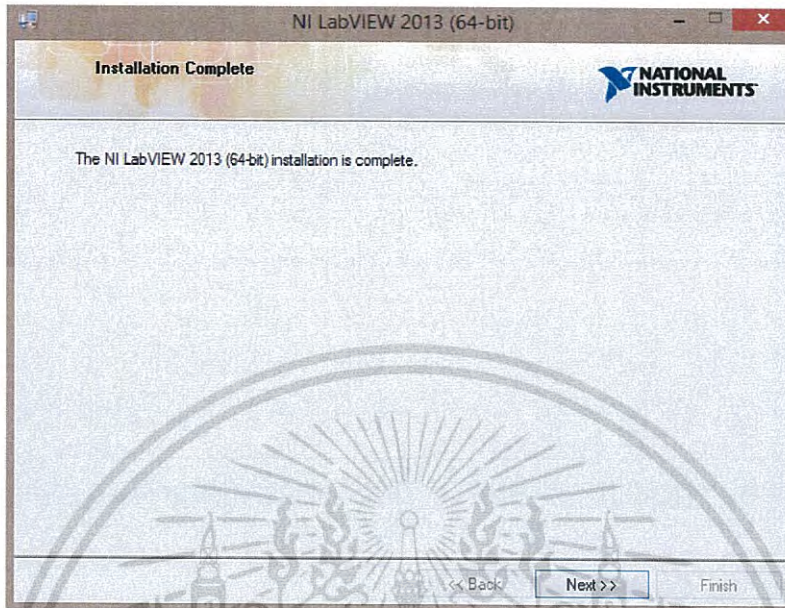
รูปที่ 9 แสดงหน้าต่างการติดตั้งโปรแกรม LabVIEW 2013



รูปที่ 10 แสดงหน้าต่างการเรียกหา Device Drivers

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. หลังจากคลิกที่ Decline Support ในขั้นตอนที่ 9 แล้ว จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 11 นั้นแสดงว่าการติดตั้งเสร็จสมบูรณ์แล้ว จากนั้นให้ทำการรีสตาร์ทเครื่องคอมพิวเตอร์



รูปที่ 11 การติดตั้งโปรแกรม LabVIEW 2013 เสร็จสมบูรณ์แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



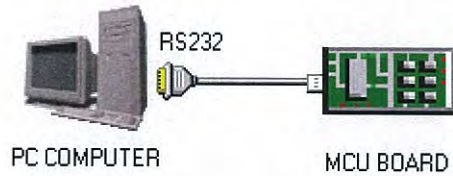
ภาคผนวก ข.

การติดต่อสื่อสารแบบนุกรม แบบRS-232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม แบบRS-232

1.การใช้งานพอร์ตอนุกรม RS-232



รูปที่1 การใช้งานพอร์ตอนุกรม RS-232

การสื่อสารแบบอนุกรม นับว่ามีความสำคัญ ต่อการใช้งาน ไมโครคอนโทรลเลอร์มาก เพราะสามารถใช้แป้นพิมพ์ และจอภาพของ PC เป็น อินพุต และ เอาต์พุต ในการติดต่อ หรือ ควบคุม ไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยสัญญาณอย่างน้อย เพียง 3 เส้นเท่านั้น คือ สายส่งสัญญาณ TX, สายรับสัญญาณ RXและสาย GND

โดยปกติพอร์ตอนุกรม RS-232C จะสามารถต่อสายได้ยาว 50 ฟุตโดยประมาณ ขึ้นอยู่กับชนิดของ สายสัญญาณ, ระยะทาง, และ ปริมาณ สัญญาณ ระบาย



รูปที่ 2พอร์ตอนุกรมของ PC DB9 ตัวผู้ (Male)



รูปที่ 3 พอร์ตอนุกรมของอุปกรณ์ภายนอก DB9 ตัวเมีย (Female)

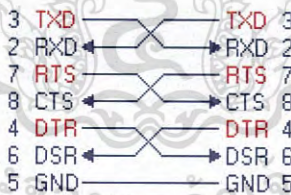
2. แสดงการจัดขา ของคอนเน็กเตอร์ อนุกรมแบบ DB9 และหน้าที่การใช้งานต่างๆ



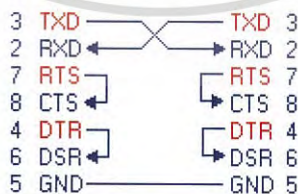
รูปที่ 4 DB9 ตัวผู้ เมื่อมองจากด้านหลัง

Pin	Description	Type
1	Data Carrier Detect (DCD)	Input
2	Received Data (RXD)	Input
3	Transmitted Data (TXD)	Output
4	Data Terminal Ready (DTR)	Output
5	Signal Ground (GND)	Input
6	Data Set Ready (DSR)	Input
7	Request To Send (RTS)	Output
8	Clear to Send (CTS)	Input
9	Ring Indicator (RI)	Input

3. การเชื่อมต่ออุปกรณ์อุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์ด้วยสาย DB9



รูปที่ 5 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ Null modem



รูปที่ 6 การต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ 3 เส้น

4.การทำงานของขาสัญญาณ DB9

TXD เป็นขาที่ใช้ส่งข้อมูล

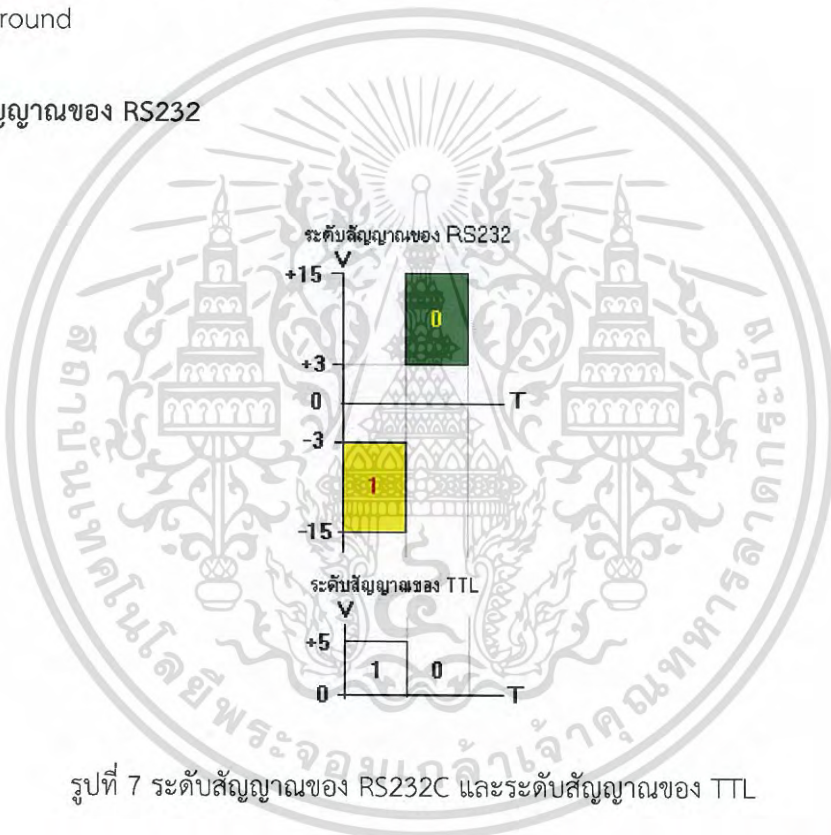
RXD เป็นขาที่ใช้รับข้อมูล

DTR แสดงสถานะพอร์ตว่าเปิดใช้งาน ,DSR ตรวจสอบว่าพอร์ต ที่ติดต่อด้วย เปิดอยู่หรือไม่ เมื่อเปิดพอร์ตอนุกรม ขา DTR จะ ON เพื่อให้อุปกรณ์ได้รับทราบว่าการติดต่อด้วย ในขณะที่เดียวกันก็จะตรวจสอบขา DSR ว่าอุปกรณ์พร้อมหรือไม่

RTS แสดงสถานะพอร์ตว่าต้องการส่งข้อมูล ,CTS ตรวจสอบว่าพอร์ตที่ติดต่อด้วย ต้องการส่งข้อมูลหรือไม่ เมื่อต้องการส่งข้อมูลขา RTS จะ ON และจะส่งข้อมูลออกที่ขา TXD เมื่อส่งเสร็จก็จะ OFF ในขณะที่เดียวกันก็จะตรวจสอบขา CTS ว่าอุปกรณ์ต้องการที่จะส่งข้อมูลหรือไม่

GND ขา ground

5.ระดับสัญญาณของ RS232



รูปที่ 7 ระดับสัญญาณของ RS232C และระดับสัญญาณของ TTL

สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น ในสายนำสัญญาณ มักจะมีแรงดันเป็นบวก เมื่อเทียบกับกราวด์ เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนนี้ จึงออกแบบแรงดัน ของโลจิก "1" เป็นลบ คืออยู่ในช่วง -3V ถึง -15V ส่วนแรงดัน ของโลจิก "0" อยู่ในช่วง +3V ถึง +15V และเหตุที่ ระดับสัญญาณ ของ RS232 อยู่ในช่วง +15V ถึง -15V ก็เพื่อให้ต่อสายสัญญาณไปได้ไกลขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวงจรเปลี่ยนระดับแรงดันของ RS232 มาเป็นระดับแรงดันของ TTL

6. อัตราการส่งข้อมูล (Baud rate)

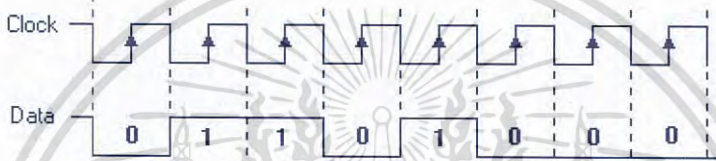
คือความเร็วของการรับ-ส่งข้อมูล เป็นจำนวนบิตต่อวินาทีเช่น 300, 1,200, 2,400, 4,800, 9,600, 14,400, 19,200, 38,400, 56,000 เป็นต้น การเลือกอัตราการส่งข้อมูลขึ้นอยู่กับ ชนิดของสายสัญญาณ, ระยะทาง, และปริมาณสัญญาณรบกวน

7. รูปแบบการสื่อสารแบบอนุกรม

มีด้วยกันอยู่ 2 แบบ คือแบบซิงโครนัส (Synchronous) และแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous)

7.1 การสื่อสารแบบซิงโครนัส (Synchronous)

การรับส่งข้อมูล จะมีสัญญาณนาฬิกา ซึ่งเป็นตัวกำหนด จังหวะเวลา การส่งข้อมูล ร่วมอยู่ด้วยอีกเส้นหนึ่ง ใช้คู่กับสัญญาณข้อมูล ตัวอย่างเช่น การส่งสัญญาณจากคีย์บอร์ด

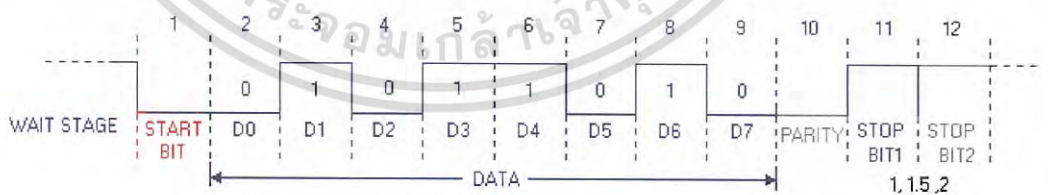


7.2 การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous)

การรับส่งข้อมูล โดยที่ไม่จำเป็นต้อง มีสัญญาณนาฬิกา ร่วมด้วย แต่จะใช้ให้ตัวส่ง และตัวรับ มีอัตราส่งข้อมูล ที่เท่ากัน

รูปแบบข้อมูลแบบอะซิงโครนัส ประกอบด้วย 4 ส่วนคือ

1. บิตเริ่มต้น (Start bit) มีขนาด 1 บิต
2. บิตข้อมูล (Data) มีขนาด 5, 6, 7 หรือ 8 บิต
3. บิตตรวจสอบพาริตี (Parity bit) มีขนาด 1 บิตหรือไม่มี
4. บิตหยุด (Stop bit) มีขนาด 1, 1.5, 2 บิต



- เมื่อไม่มีการส่งข้อมูล ขา data จะมีสถานะเป็นลอจิก "1" หรือ สถานะหยุดรอ (Waiting stage)
- เมื่อเริ่มต้นส่งข้อมูลจะให้ขา data เป็นลอจิก "0" เป็นจำนวน 1 บิต เรียกว่าบิตเริ่มต้น (Start bit)
- จากนั้นก็จะเริ่มต้นส่งข้อมูล โดยส่งบิตต่ำไปก่อน (LSB)
- แล้วตามด้วยพาริตีบิต (จะมีหรือไม่มีก็ได้ ขึ้นอยู่กับการติดตั้งค่า ของทั้งสองฝ่าย)
- สุดท้ายตามด้วยลอจิก "1" อย่างน้อย 1 บิต (มีขนาด 1, 1.5, หรือ 2 บิต) เพื่อแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.การรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมยังแบ่งออกเป็นลักษณะการใช้งานได้ 3 แบบคือ

1. Simplex เป็นการส่ง หรือรับข้อมูล แบบทิศทางเดียวเท่านั้น
2. Haft Duplexเป็นการส่งรับข้อมูลแบบสลับกัน คือเมื่อด้านหนึ่งส่งอีกด้านหนึ่งเป็นฝ่ายรับ สลับกัน ไม่สามารถรับ-ส่งในเวลาเดียวกันได้
- 3.Full Duplex สามารถรับ-ส่งข้อมูลในเวลาเดียวกันได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



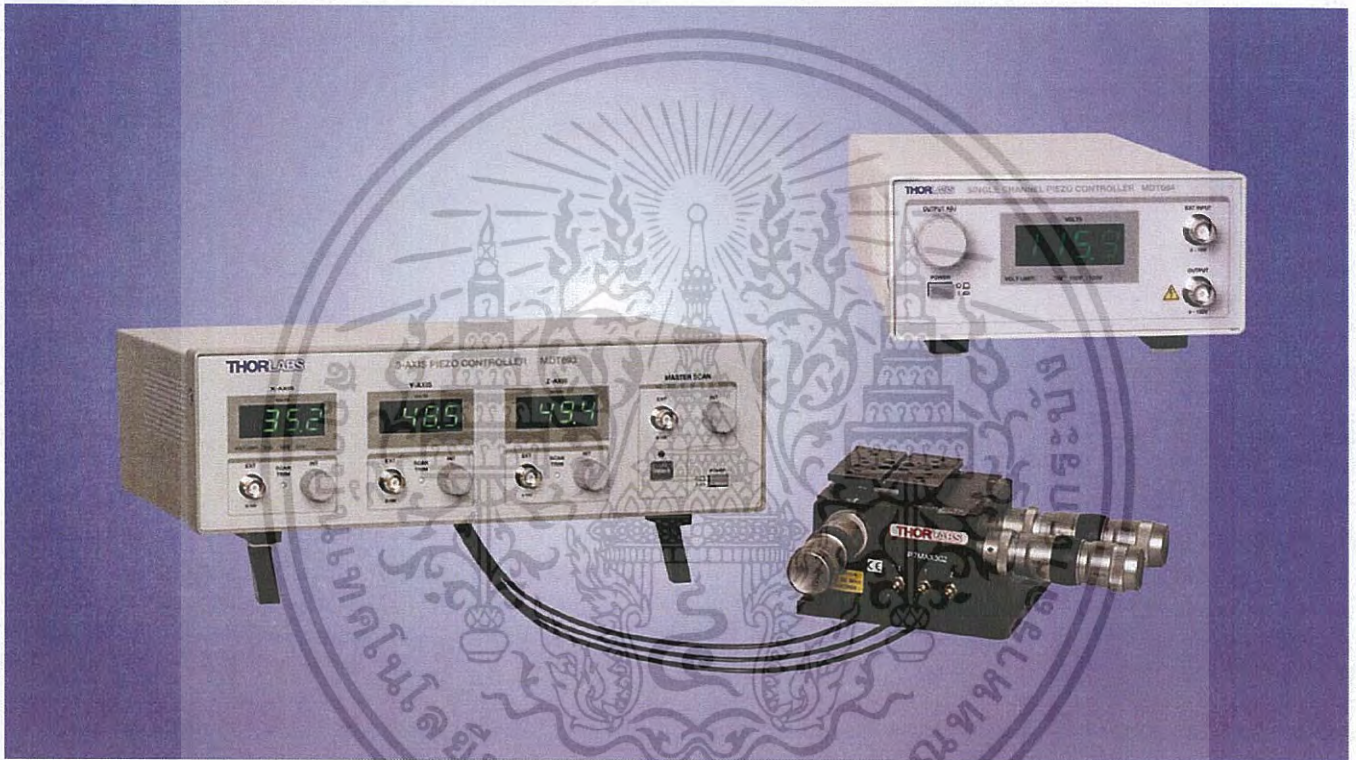
ภาคผนวก ค.

MDT693A / MDT694A Piezo Controllers

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MDT693A / MDT694A Piezo Controllers

Operating Manual



Related Products

Model	Description
MDT630A	3-Axis Flexure System with Stage and Controller
MAX302	NanoMax Stage with Piezoelectric Actuators
KC1PZ	Piezo-Electric Kinematic Mount
PE4	Piezo Electric Actuator
APB302	100µm X-Y-Z Piezo Block Translator
ASM00x	Piezo Electric Controlled Optics Mount
AE Series	OEM Piezo Electric Actuators



Table of Contents

MDT693A / MDT694A Piezo Controllers	1
OPERATING MANUAL.....	1
TABLE OF CONTENTS	1
TABLE OF CONTENTS	2
SECTION 1: SAFETY WARNINGS	4
SECTION 2: SPECIFICATIONS	5
2.1 PHYSICAL FEATURES:	5
2.2 POWER SUPPLY:.....	5
2.3 INPUT / OUTPUT SPECIFICATIONS:	5
2.4 A/D AND D/A PERFORMANCE.....	6
2.5 COMMUNICATIONS:	6
SECTION 3: DESCRIPTION	7
SECTION 4: PARTS LIST	7
SECTION 5: FUSE REPLACEMENT / LINE VOLTAGE SELECTION	8
5.1 MATERIALS NEEDED	8
5.2 FUSE REPLACEMENT AND LINE VOLTAGE SELECTION	8
SECTION 6: GETTING STARTED QUICKLY	9
6.1 SETUP.....	9
SECTION 7: DESCRIPTION	10
7.1 MDT693A FRONT PANEL FEATURES.....	10
7.2 MDT693A REAR PANEL FEATURES	11
7.3 MDT694A FRONT PANEL FEATURES.....	12
7.4 MDT694A REAR PANEL FEATURES	13
SECTION 8: OPERATING INSTRUCTIONS	14
8.1 SETTING THE OUTPUT VOLTAGE LIMIT	14
8.2 USING THE INT ADJUSTMENT KNOB	14
8.3 USING THE EXT INPUT BNC	14
8.4 USING THE MASTER SCAN CONTROLS (MDT693A ONLY)	15
8.4.1 Enable Button.....	15
8.4.2 Enable LED.....	15
8.4.3 MASTER SCAN EXT.....	15
8.4.4 MASTER SCAN EXT.....	15
8.4.5 MASTER SCAN EXT.....	15
SECTION 9: SERIAL PORT	16
9.1 OVERVIEW.....	16
9.1.1 Self Executable Software Overview.....	16

9.1.2 Software Manual.....	16
9.3 BAUD RATE AND DEVICE SETTINGS	17
9.3.1 COM Port Protocol.....	17
9.3.2 Setting the Baud Rate.....	17
9.4 SERIAL COMMAND SUMMARY	18
SECTION 10: SOFTWARE OPERATION.....	20
10.1 SOFTWARE INSTALLATION	20
10.1.1 Software Requirements	20
10.2 RUNNING THE SOFTWARE FOR THE FIRST TIME	20
10.3 OVERHEAD MENU OPTIONS.....	21
10.3.1 Exiting the Software.....	21
10.3.2 Closing a Window.....	21
10.3.3 Setting the Default Startup Window.....	21
10.3.4 Manually Adjusting the Communication Settings	21
10.3.5 Voltage Limit Settings.....	21
10.3.6 Help > About Windows.....	22
10.4 THE COMPACT WINDOW.....	22
10.4.1 Changing the Voltage.....	22
10.4.2 Reset Buttons.....	22
10.5 THE MAIN PANEL WINDOW.....	23
10.5.1 Display Mode Switch.....	23
10.6 THE MASTER SCAN WINDOW.....	23
10.6.1 Master Controls.....	23
10.6.2 Local Controls.....	24
10.7 THE FUNCTION GENERATOR WINDOW	24
10.8 SERIAL PORT ERROR MESSAGES	25
10.8.1 "System Setting Error".....	25
10.8.2 "MDT695 File Error".....	25
10.8.3 "Communication Error".....	25
10.8.4 "RS232 Communication".....	25
SECTION 11: MAINTENANCE AND TROUBLESHOOTING.....	26
11.1 CLEANING	26
11.2 MAINTENANCE AND TROUBLESHOOTING.....	26
SECTION 12: CONTACTS	26
USA, CANADA, AND SOUTH AMERICA.....	26
EUROPE	26
JAPAN AND ASIA	26

Section 1: Safety Warnings



WARNING: HIGH VOLTAGE OUTPUTS

The MDT693 can produce hazardous voltages and currents. Use **CAUTION** when operating the MDT693A or MDT694A and handling the piezo actuators! The piezo elements are electrical capacitors capable of storing electrical energy over long periods of time. Besides storing charge from the MDT693A or MDT694A, the piezo can accumulate static charge over time due to varying storage temperature and/or mechanical loads. To safely discharge a piezo, connect it to the MDT693A or MDT694A and set the output voltage to 0 volts.



WARNING: HIGH VOLTAGE INSIDE. TO AVOID ELECTRICAL SHOCK THE POWER CORD PROTECTIVE GROUNDING CONDUCTOR MUST BE CONNECTED TO GROUND. DO NOT REMOVE COVER. REFER SERVICING TO QUALIFIED PERSONEL.

Thorlabs provides the proper power input cable with each MDT693A and MDT694A for use in the United States. If using this unit anywhere else, the user will need to supply a properly grounded power cable to power the unit. If something should go wrong with the unit, do not attempt to fix. Call a Thorlabs representative and arrange for repair. The unit should never be opened unless changing the fuse or line voltage as described in Section 5.



WARNING: THE UNIT MUST BE POWERED OFF, UNPLUGGED FROM THE AC INPUT POWER SOURCE, AND DISCONNECTED FROM ALL EXTERNAL DEVICES BEFORE REPLACING THE FUSE. FAILURE TO DO SO MAY CAUSE SERIOUS INJURY TO THE USER SINCE HIGH VOLTAGES EXIST WITHIN THE UNIT.

Thorlabs ships all units configured to operate in the United States (i.e. line voltage 115VAC, 60Hz and 250mA fuse installed). It may be necessary to change the line voltage to 230VAC and replace the fuse with a replacement Slow Blo fuse. Care must be taken when configuring the unit. See Section 5 for complete details.

Section 2: Specifications

2.1 Physical Features:

	MDT693A	MDT694A
Dimensions (W x H x D):	12.25" x 3.25" x 8" (311.2mm x 82.5 x 203.2mm)	5.8" x 2.8" x 12.5" (147mm x 71mm x 317.5mm)
Input and Output Connectors:	BNC ¹	----
Manual Controls (DC Offset) ² :	10-Turn Potentiometer	----
Scan Trim Controls (Scaling):	12-Turn Potentiometer	N/A
Number of Channels:	3	1
Number of Displays:	3	1
Display Type:	LCD	----
Display Color:	Green	----
No of Digits:	3 ½ (000.0 to 150.0)	----
Display Resolution:	±0.1	----
Weight:	tbd	tbd
Operating Temperature:	10 - 40°C	----

2.2 Power Supply:

Input Power Connection ³ :	IEC Connector	----
Supply Type:	Linear	----
Voltage Selection:	Switch Selectable (115 / 230)	----
Input Voltage:	100/115VAC ±10% [†] 230VAC ± 10%	----
Line Frequency:	50 – 60Hz	----
Input Power:	85VA max	30VA max
Fuse Ratings:	630mA @ 115VAC [†] 400mA @ 230VAC	500mA @ 115VAC [†] 250mA @ 230VAC
Fuse Type:	IEC60127-2/III (250V, Slow Blow Type 'T')	----
Fuse Size:	5 x 20mm	----

2.3 Input / Output Specifications:

Ext. Input Voltage Range ⁴ :	0 – 10V	----
Ext. Input Impedance ⁴ :	10KΩ	----
Output Voltage Range ⁵		
Volt Limit Pos 1 (75V) [†] :	0 - 75V	----
Volt Limit Pos 2 (100V):	0 - 100V	----
Volt Limit Pos 3 (150V):	0 – 150V	----
Max Output Current ⁵ :	60mA (current limited)	----
Output Impedance ⁵ :	150Ω, 0.047μF	----
Min Load Impedance ⁷ :	2.5kΩ	----
EXT Input Gain ⁴		
Volt Limit Pos 1 (75V) [†] :	7.5 V/V ±5%	----
Volt Limit Pos 2 (100V):	10 V/V ±5%	----
Volt Limit Pos 3 (150V):	15 V/V ±5%	----
Output Noise ⁶ :	1.5mV _{RMS} (~9.9V _{pp})	----
-3dB Bandwidth ⁸		
No Load, Small Signal:	10 kHz	----
No Load, 150V _{pp} :	8.5 kHz	----
1.6μF Piezo (AE0505D16), 150V:	250 Hz	----
Stability:	< 0.01% over 5hrs	----

2.4 A/D and D/A Performance

D/A Resolution:	16-bit	----
Output Voltage Range:	0 to 150V	----
Voltage Resolution:	2.75mV	----
A/D Resolution:	16-bit	----
Voltage Resolution:	3mV	----

2.5 Communications:

Communications Port:	RS232	----
Com Connection:	DB9 Female (Rear Panel)	----
Required Cable ⁹ :	DB9 Male to Female (Provided)	----
Protocol:		
Baud Rate:	9600, 14400, 19200, 28800, 34800 57600, 76800, 115200 [†] bps	----
Data Bits:	8	
Stop Bits:	1	
Parity:	None	
Handshaking:	None	
Baud Rate Set:	4-Pos Dip Switch (Internal)	----

Notes:

- † Factory Default Setting.
- 1. To operate the MDT693A or MDT694A with Thorlabs Nanomax stages BNC to SMC cables must be used.
- 2. Includes X AXIS INT, Y AXIS INT, Z AXIS INT and MASTER SCAN INT for the MDT693A and INT for the MDT694A.
- 3. The MDT693A and MDT694A are supplied with a US style power cord. Units purchased in other countries must supply their own certified rated power cord.
- 4. Includes X AXIS EXT, Y AXIS EXT, Z AXIS EXT and MASTER SCAN EXT for the MDT693A and EXT for the MDT694A.
- 5. Includes X AXIS, Y AXIS, and Z AXIS OUTPUTS located on the rear panel of the MDT693A and OUTPUT on the front panel of the MDT694A.
- 6. The MDT693A and MDT694A were tested without an external load connected (0.047 μ F output impedance only). Adding a capacitive load, such as a piezo will decrease the noise spec since the capacitance will create a low pass filter with the output resistance.
- 7. The Min Load Impedance represents the smallest allowable terminating resistance. Applying lower impedances will cause the short circuit protection to limit the output voltage. Continued use in this mode will cause circuit degradation and eventual circuit failure.
- 8. Assume a ramp function is used. The bandwidth is load dependent and requires calculation for a more representative number. See the Bandwidth section for details.
- 9. Do not use a null modem cable.

Section 3: Description

The MDT693A and MDT694A are precision, low-noise, low-drift, high voltage controllers for piezo actuators. The MDT693A provides three channels while the MDT694A is a single channel unit. The controllers provide both manual and external control of the piezo drive voltages. The MDT694A is ideal for single piezo control such as the Thorlabs PE4 or AE-series piezos, while the MDT693A can control multiple axis piezo stages such as Thorlabs KC1PZ or MAX312. Typical applications include remote alignment of single-mode fiber couplers, high-resolution translation, microscopy, remote positioning, etc.

Precision 10-turn potentiometers on the front panel allow for precise manual setting of the outputs over the full operating range. This allows hands-off control of the piezo translators to take full advantage of the inherently high resolution of the piezo element. The MDT693A provides independent controls for each channel.

The drive voltage can also be controlled externally by applying an analog voltage (from 0 to 10V) to the front panel BNC inputs or remotely controlled by a computer terminal through an RS-232 interface. This voltage is multiplied by the selected gain setting and summed with the manual control voltage.

I.e. $V_{OUT} = V_{MANUAL} + (GAIN * V_{EXT}) + V_{RS232}$

The external control voltage can be supplied by any stable voltage source including function generators, DAC outputs, or DC supplies. Also, the external voltage can be used as part of a feedback loop for automated alignment systems. Since both the manual control and the external input voltage are summed, the manual control can be used for offset adjustments without having to readjust the external voltage source.

Both the MDT693A and the MDT694A include a voltage limit switch on the rear panels to select the operating voltage ranges and gains for the units. Each unit is shipped set for 0 – 75V (Gain = 7.5 V/V) operation and may be adjusted by the user to provide 0 – 100V (Gain = 10 V/V) and 0 – 150V (Gain = 15 V/V) ranges.

The MDT693A Master Scan feature allows all three channels to be controlled by one manual adjustment or by one external control signal. In this mode, each channel can be precisely adjusted by an offset voltage (i.e. the INT control knob for each axis) and by a gain adjustment (i.e. SCAN TRIM adjustment pot for each channel). The gain adjustment allows the output for each channel to be amplified from 80 to 120 % of the master control signal.

The MDT693A and MDT694A include 3 ½ digit LED readouts for displaying the instantaneous output voltages of all three channels. The input power is switch selectable for 115VAC or 230VAC operation.

Section 4: Parts List

Below is a list of all components shipped with the MDT693A/MDT694A Piezo Controller.

- MDT693A or MDT694A Control Box
- Operating Manual
- Fuse Replacement Datasheet
- Software CD
- US Power Supply Line Cord
- DB9 Serial Port Cable
- Replacement Fuse for 230VAC operation (400mA fuse for MDT693A's; 125mA fuse for MDT694A's)

The following items are sold separately:

- 2249-C-xx Series: BNC Coaxial Cables
- CA26xx Series: BNC male to SMC male Coaxial Cables
- AE Series: Standalone Piezo Stacks
- PE4: Piezo/Screw Actuator
- MAX300 Series: 3-Axis NanoMax Flexure stages

Section 5: Fuse Replacement / Line Voltage Selection

Thorlabs ships its MDT693A and MDT694A units configured to operate at 115VAC. The line voltage and installed fuse must be changed to operate this unit at 230VAC. To operate at 100VAC, use the 115VAC setting. Follow the instructions below to change the line voltage if necessary.



WARNING: THE UNIT MUST BE POWERED OFF, UNPLUGGED FROM THE AC INPUT POWER SOURCE, AND DISCONNECTED FROM ALL EXTERNAL DEVICES BEFORE REPLACING THE FUSE. FAILURE TO DO SO MAY CAUSE SERIOUS INJURY TO THE USER SINCE HIGH VOLTAGES EXIST WITHIN THE UNIT.

5.1 Materials Needed

- ❑ **MDT693A/MDT694A Operating Manual** – The most recent version of this operating manual will be available on Thorlabs web site.
- ❑ **400mA Type IEC60127-2/III** – (5x20mm, 250V, Slow Blow Type 'T') The 400mA fuse is required for 230V operation of the MDT693A. Thorlabs supplies a 400mA fuse with all of its MDT693A units and must be installed when operating at 230VAC.
- ❑ **630mA Type IEC60127-2/III** – (5x20mm, 250V, Slow Blow Type 'T') The 630mA fuse is installed in MDT693A's from the factory. This must be installed when operating the unit at 100 / 115VAC.
- ❑ **125mA Type IEC60127-2/III** – (5x20mm, 250V, Slow Blow Type 'T') The 250mA fuse is required for 230V operation of the MDT694A. Thorlabs supplies a 250mA fuse with all of its MDT694A units and must be installed when operating at 230VAC.
- ❑ **250mA Type IEC60127-2/III** – (5x20mm, 250V, Slow Blow Type 'T') The 500mA fuse is installed in MDT694A's from the factory. This must be installed when operating the unit at 100 / 115VAC.
- ❑ **Flat Head Screwdriver** – This is required to open the fuse holder.

5.2 Fuse Replacement and Line Voltage Selection

1. **Important** – Disconnect all piezos from outputs and disconnect any input signals present.
2. **Important** – Disconnect the power cord. **Do not open the unit if the power cord is connected. See warning above.**
3. Locate the fuse holder below the power input connector. Slide the fuse tray out using a flat head screwdriver. Remove the fuse and replace with the appropriate value as described below:

MDT693A

- 400mA Type IEC60127-2/III (5x20mm, 250V, Slow Blow Type 'T') for 230VAC operation
- 630mA Type IEC60127-2/III (5x20mm, 250V, Slow Blow Type 'T') for 100/115VAC operation

MDT694A

- 125mA Type IEC60127-2/III (5x20mm, 250V, Slow Blow Type 'T') for 230VAC operation
- 250mA Type IEC60127-2/III (5x20mm, 250V, Slow Blow Type 'T') for 100/115VAC operation

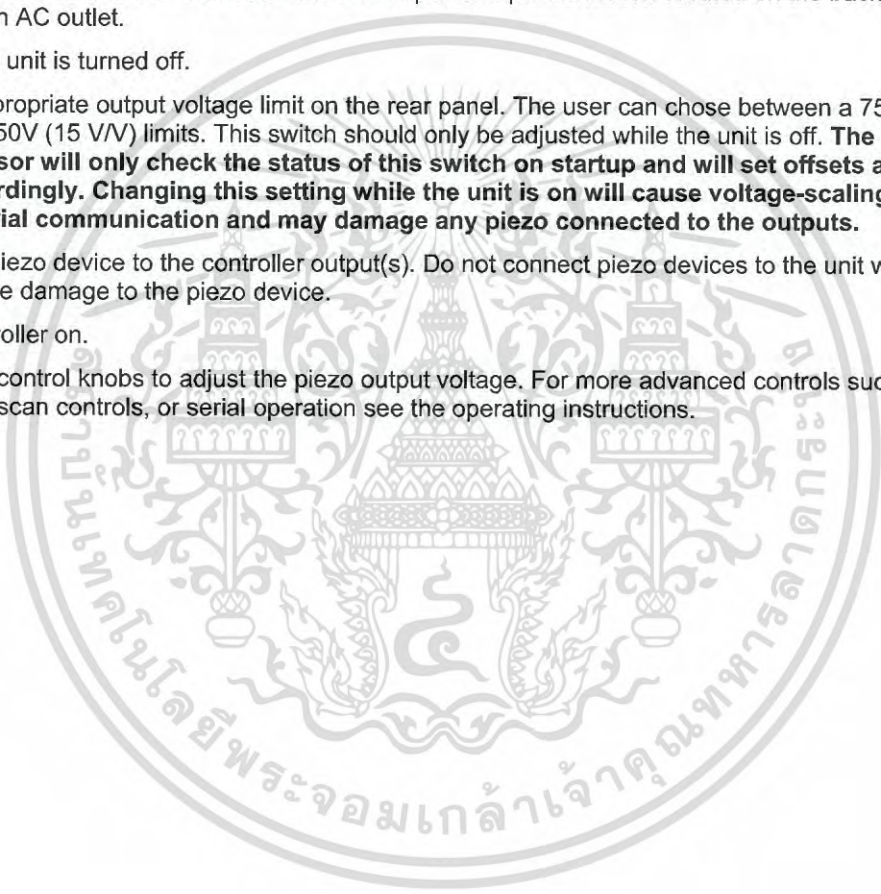
4. To change the line voltage, locate the line select on the rear panel. Select the appropriate line voltage by adjusting the switch to either 110 or 220. Select 110 if operating at 100VAC to 120VAC. Select 220 for operation from 220VAC to 240VAC.

Section 6: Getting Started Quickly

This section is provided for those interested in getting the MDT693A or MDT694A up and running quickly as a basic piezo controller. The more advanced features are described in detail in the following sections.

6.1 Setup

1. Carefully unpack the controller and accessories. See section 4 for a complete list of parts. If any of the items appear damaged or missing, do not use the controller. Call Thorlabs, or email RMA@thorlabs.com and arrange for a replacement.
2. If necessary change the input line voltage and replace the fuse. The MDT693A/MDT694A can be operated from 100/115VAC or 230VAC. A voltage selector switch is located on the rear panel of the controller. If you are not sure what operating voltage your unit is set to, proceed immediately to Section 5.0 for instructions on setting the operating voltage.
3. Attach the AC line cord to the MDT693A/MDT694A power input connector located on the back of the unit. Plug the unit into an AC outlet.
4. Verify that the unit is turned off.
5. Select the appropriate output voltage limit on the rear panel. The user can chose between a 75V (7.5V/V), a 100V (10 V/V), or 150V (15 V/V) limits. This switch should only be adjusted while the unit is off. **The internal microprocessor will only check the status of this switch on startup and will set offsets and voltage scaling accordingly. Changing this setting while the unit is on will cause voltage-scaling problems when using the serial communication and may damage any piezo connected to the outputs.**
6. Connect the piezo device to the controller output(s). Do not connect piezo devices to the unit while the unit is on. This can cause damage to the piezo device.
7. Turn the controller on.
8. Use the 'INT' control knobs to adjust the piezo output voltage. For more advanced controls such as the external input, master scan controls, or serial operation see the operating instructions.



Section 7: Description

7.1 MDT693A Front Panel Features

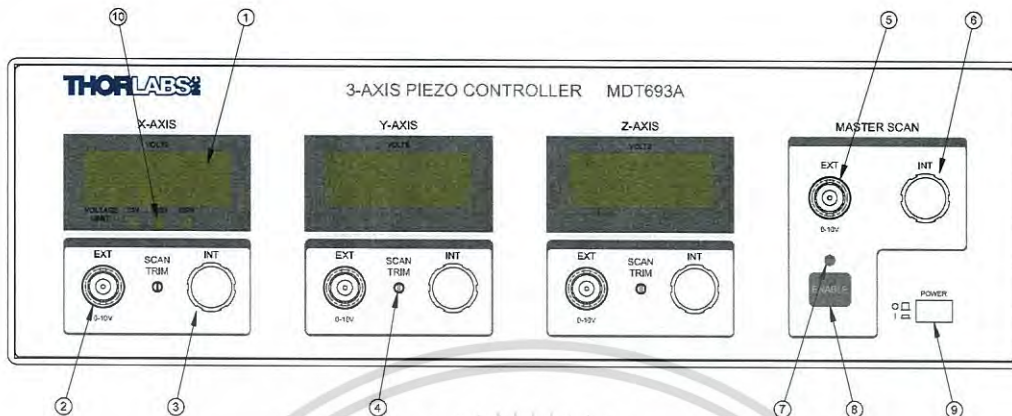


Figure 1 – MDT693A Front Panel

- | Feature: | Description |
|----------|--|
| 1 | 3 ½ Digit LED Display – A 3 ½ digit display is used to view the output voltage for each channel. |
| 2 | EXT INPUT BNC - This input is used to externally control the output. The input voltage range is 0 to 10V with a gain of 7.5, 10, or 15 V/V depending on the 'Output Voltage Limit' setting. There is one input for each channel. |
| 3 | INT Knob – This knob will adjust the output voltage from 0 to 75, 100, or 150V _{DC} . It can also be used as an offset for any external input, since it is summed with the EXT INPUT BNC. There is a separate control knob for each channel. |
| 4 | EXT SCAN TRIM – This will adjust the output gain for each channel from 80% to 120% while in the Master Scan mode. |
| 5 | MASTER SCAN EXT – Add a 0 to 10V analog signal to this input to control all three outputs. This input is summed with MASTER SCAN INT, SCAN TRIM and INT. The Master Scan mode must be enabled to use this feature. |
| 6 | MASTER SCAN INT – The Master Scan INT knob will allow the user to adjust the DC offset of all three channels over the full operating range. The Master Scan mode must be enabled to use this feature. |
| 7 | MASTER SCAN Enable LED – will indicate when the MDT693A is operating in the Master Scan mode. |
| 8 | ENABLE Button – This button is used to enable the master scan mode. |
| 9 | POWER Button – Press in to turn the MDT693A on. |
| 10 | Voltage Limit Indicator – These LED will indicate voltage limit setting. The Limit setting can be adjusted through the rear panel switch marked "OUTPUT LIMIT". |

7.2 MDT693A Rear Panel Features

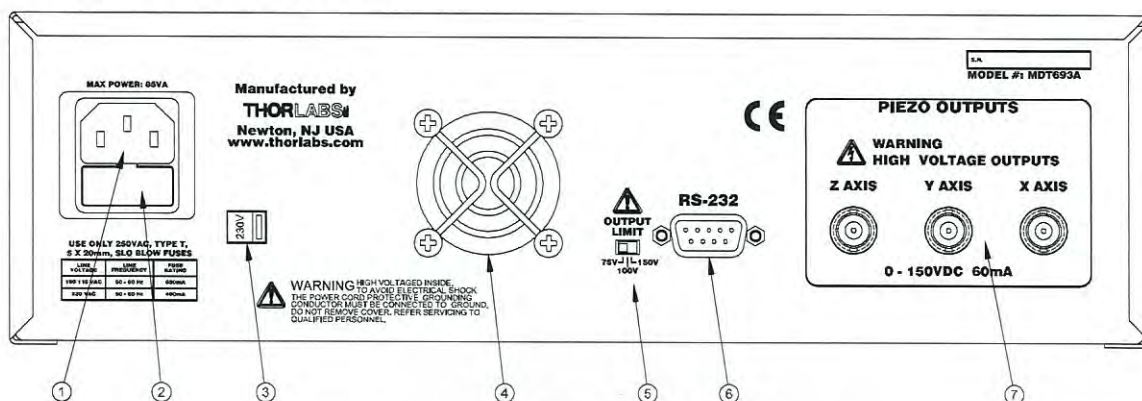


Figure 2 – MDT693A Rear Panel

Feature: Description:

- 1 **AC input receptacle** – This input requires an IEC compatible plug with a properly connected ground terminal. Thorlabs supplied a cord for operation in the United States.
- 2 **Fuse Holder** – The system fuse is installed here. See section 5 for more details.
- 3 **Line Voltage Selector Switch** – This switch adjusts the line voltage operation. The factory default is 115 and must be adjusted to operate where the line voltage is 220 – 240VAC.
- 4 **Cooling fan** – Do not block when the unit is operating.
- 5 **Output Limit Switch** – Use this to select the output voltage limit and adjust the EXT input gain value. The output voltage limit can be set to 75, 100, or 150V (7.5, 10, 15 V/V gain). **Do not adjust when the unit is powered on.**
- 6 **RS232 Connector** – Use this to communicate to a PC through serial control. Use a standard DB9 male to DB9 female (Included) cable for connection.
- 7 **High Voltage Outputs** – These BNC's are used for the piezo connections. Caution: These are high voltage outputs which could cause a shock if accessing without a piezo installed. The outputs on these connectors are the sum of the adjustment knob, the external voltage control and the serial control.

7.3 MDT694A Front Panel Features

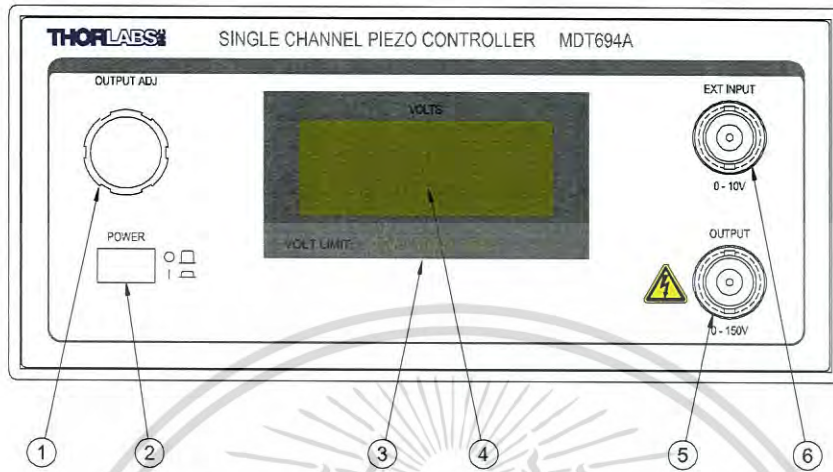


Figure 3 – MDT694A Front Panel

Feature:Description:

- 1 **INT Knob** – This knob will adjust the output voltage from 0 to 75, 100, or 150V_{DC}. It can also be used as an offset for any external input, since it is summed with the EXT INPUT BNC. There is a separate control knob for each channel.
- 2 **POWER Button** – Press in to turn the MDT694A on.
- 3 **Voltage Limit Indicator** – These LED's will indicate the voltage limit setting. The Limit setting can be adjusted through the rear panel switch marked "OUTPUT LIMIT".
- 4 **3 ½ Digit LED Display** – A 3 ½ digit display is used to view the output voltage.
- 5 **High Voltage Output** – This BNC is used for the piezo connection. Caution: This is a high voltage output which could cause a shock if accessing without a piezo installed. The output on this connector is the sum of the adjustment knob, the external voltage control and the serial control.
- 6 **EXT INPUT BNC** - This input is used to externally control the output. The input voltage range is 0 to 10V with a gain of 7.5, 10, or 15 V/V depending on the 'Output Voltage Limit' setting.

7.4 MDT694A Rear Panel Features

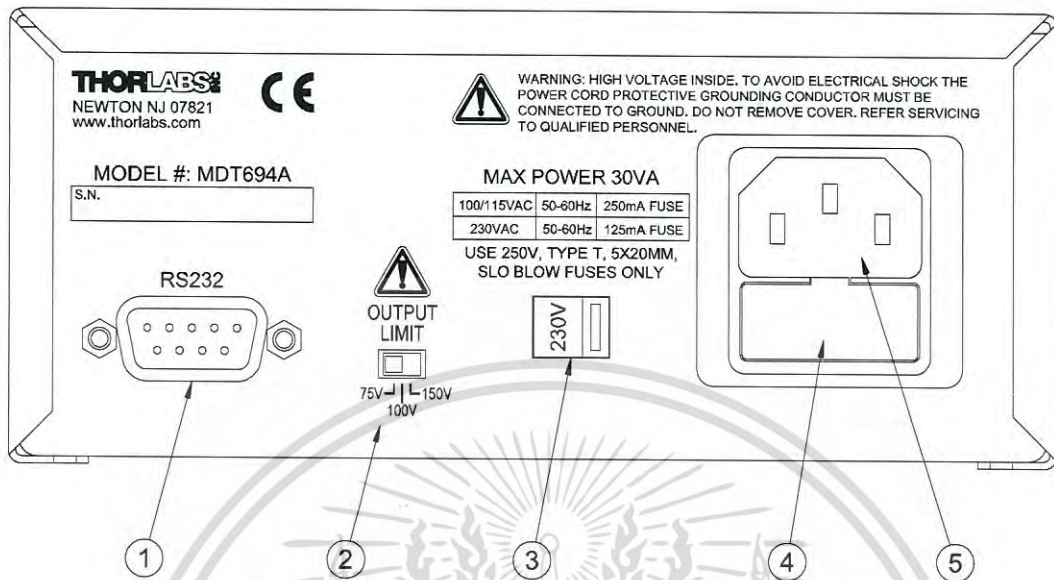


Figure 4 – MDT694A Rear Panel

- | | |
|-----------------|---------------------|
| Feature: | Description: |
|-----------------|---------------------|
- 1 **RS232 Connector** – Use this to communicate to a PC through serial control. Use a standard DB9 male to DB9 female (Included) cable for connection.
 - 2 **Output Limit Switch** – Use this to select the output voltage limit and adjust the EXT input gain value. The output voltage limit can be set to 75, 100, or 150V (7.5, 10, 15 V/V gain). Do not adjust when the unit is powered on.
 - 3 **Line Voltage Selector Switch** – This switch adjusts the line voltage operation. The factory default is 115 and must be adjusted to operate where the line voltage is 220 – 240VAC.
 - 4 **Fuse Holder** – The system fuse is installed here. See section 5 for more details.
 - 5 **AC input receptacle** – This input requires an IEC compatible plug with a properly connected ground terminal. Thorlabs supplied a cord for operation in the United States.

Section 8: Operating Instructions



WARNING: THE MDT693A AND MDT694A CAN PRODUCE HAZARDOUS VOLTAGES AND CURRENT. USE CAUTION WHEN OPERATING THIS UNIT.

8.1 Setting the Output Voltage Limit

Both the MDT693A and the MDT694A include a voltage-limiting switch on the rear panel that can be used to limit the output voltage range for lower drive voltage piezos. Thorlabs ships the controllers to operate with the 75V limit as a default. The user can easily adjust this value as described below:

1. Determine the maximum allowable voltage for your piezo element. We recommend the following settings:
 - ❑ Use the 150V Limit Setting when $V_{\text{PIEZO}} \geq 150\text{V}$.
 - ❑ Use the 100V Limit Setting when $150\text{V} \geq V_{\text{PIEZO}} \geq 100\text{V}$.
 - ❑ Use the 75V Limit Setting when $100\text{V} \geq V_{\text{PIEZO}} \geq 75\text{V}$.Where V_{PIEZO} is the piezo element maximum voltage
2. Power off the MDT693A, or MDT694A. **Do not adjust the voltage limit switch when the unit is powered on.**
3. Locate the Voltage Limit switch on the rear panel of the MDT693A/MDT694A.
4. Adjust the switch to the desired limit setting as determined above.
5. Turn the Controller On. The onboard micro controller will automatically configure the controller to the appropriate settings. The gain of the EXT input BNC's will vary depending on the gain setting. For the 150V setting the gain is 15V/V, for the 100V setting the gain is 10V/V, and for the 75V setting the gain will be 7.5V/V.

8.2 Using the INT Adjustment Knob

The INT knobs manually control the output voltages for each channel between 0 and 150 VDC. It can also be described as a DC offset voltage since it will be summed with the external input control and RS-232 control. Follow the procedure described below for operation in this mode.

1. Attach a piezo to each of the high voltage output connectors on the MDT693A rear panel or to the front panel output connector of the MDT694A.
Note: the BNC center conductor is positive and the shield is at ground potential. Be certain to match piezo polarity to the connector since most piezo elements will be permanently damaged if connected backwards.
2. Set all the output voltages to 0V by turning the manual control knobs counter-clockwise until the mechanical stop is reached.
3. Turn the power switch (located on the front panel) to the ON position. The digital displays should begin displaying the output voltages.
4. Adjust the INT knob for each channel until the desired voltages are displayed or until the desired displacements are met.

Note: the maximum output voltage for the MDT693 is 150V per channel. This may be too high for some piezo elements.

8.3 Using the EXT INPUT BNC

The EXT inputs on both the MDT693A and MDT694A are designed to allow the user to modulate the channel output or to be used as a feedback for positioning systems. Examples of connections for this input include D/A systems, strain gages with support electronics, and function generators. This control is summed with the INT control knob and the serial port control. To use this feature, follow the steps below.

1. Attach a piezo to each of the high voltage output BNC connectors, located on the rear panel of the MDT693A or to the front panel output connector of the MDT694A.

Note: the BNC center conductor is positive and the shield is at ground potential. Be certain to match piezo polarity to the connector since most piezo elements will be permanently damaged if connected backwards.

2. Set the output voltages to 0V by turning the manual control knobs counter-clockwise until the mechanical stop is reached.
3. Turn the power switch on.
4. Connect an analog input signal (AC or DC), with a voltage between 0 and 10V, to the EXT INPUT BNC's. The output for each channel will follow the EXT Input voltage with a gain of 7.5, 10, or 15V/V.

Note: do not place a negative voltage on the EXT input BNC. The MDT693A/MDT694A includes reverse protection diodes on the EXT inputs. These are designed to prevent the piezo output from going negative. Inputting negative voltages for long periods of time will damage these diodes and effect the operation of the unit.

5. For sinusoidal and ramp signals, calculate the output current and verify that it will not exceed the maximum current rating of 60mA. A piezo acts like a capacitor; therefore the output current is a function of the change in voltage divided by the change in time (see Appendix A for details). The MDT693A and MDT694A have an output current limiting circuit to prevent damage to the unit, however the output sinusoid will be distorted.

8.4 Using the MASTER SCAN controls (MDT693A Only)

The master scan controls are provided so that the user can control all three channels from a single source. This source can be an external voltage or a manual control knob. Each channel also has a gain adjustment, which allows the user to compensate for differences in the piezos. The output of each channel is summed with the INT adjustment knobs to allow for a dc offset.

The Master Scan mode is especially useful for adjusting three axis mounts such as the MAX312 and KC1PZ. The SCAN TRIM gain controls and the INT control knobs allow the user to precisely tune each output separately, while the MASTER SCAN INT and EXT controls allow the user to adjust all three channels in sync.

8.4.1 Enable Button

The ENABLE button located on the front panel (see Section 7.1 – MDT693A Front Panel Features) is used to enable and disable the master scan mode.

8.4.2 Enable LED

The enable LED, located directly above the ENABLE button, will light when the master scan mode is activated.

8.4.3 MASTER SCAN EXT

An analog voltage between 0 and 10V can be applied to this input to control all three channels over a voltage range of 0 to 75, 100 or 150V. This input will be summed with the MASTER SCAN INT and the individual INT knobs for each channel. The MASTER SCAN EXT input will only be active in the MASTER SCAN mode (i.e. the enable LED must be lit).

8.4.4 MASTER SCAN INT

The MASTER SCAN INT knob will allow the user to adjust all three channels over the full operating range of 0 to 75, 100, or 150V. The MASTER SCAN INT knob will only be active in the MASTER SCAN mode (i.e. the enable LED must be lit).

8.4.5 MASTER SCAN EXT

The SCAN TRIM adjustments scale each channel separately with a gain of 80% to 120% of the Master Scan INT and EXT signals. This is useful to compensate for differences in reactance from one piezo to another. The SCAN TRIM adjustments are only active in the MASTER SCAN mode (i.e. the enable LED must be lit).

Note: the 100% mark is half way through the adjustment range of the SCAN TRIM potentiometer. To approximately set the SCAN TRIM to 100% turn the pot a minimum of four turns CCW (zero the pot). Adjust the pot CW two turns. To precisely set the SCAN TRIM to 100% follow the procedure below:

- Adjust all of the INT control knobs CCW as far as they will go.
- Disconnect any EXT input connections.
- Adjust the SCAN TRIM pots a minimum of 4 turns CCW.
- Apply a 5V dc voltage source to the MASTER SCAN EXT BNC.
- Adjust the SCAN TRIM pots CW until their display reads 75 volts (assuming the voltage limit is 150V).

Section 9: Serial Port

9.1 Overview

The MDT693A and MDT694A serial control is designed specifically to interface the controller directly to computer terminals. The user can operate the piezo driver remotely, or easily incorporate Thorlabs drivers into automated control systems. The output voltage of the piezo driver is directly controlled through software, eliminating the need for external control voltages such as lab power supplies, frequency generators, or analog output cards. Simple functions such as sine waves, voltage ramps, and pulses are possible through PC control.

The MDT693A/MDT694A communicates via a standard RS-232 serial port using most of the common baud rate settings up to 115200Kbs. The baud rate is selectable using an accessible dipswitch, with a factory default baud rate setting of 115200Kbs. The user may communicate directly with the controller using the provided commands and a serial emulator program such as HyperTerminal, through National Instruments LabView, or using the self-executable program provided.

Each piezo output channel is controlled through a 16-bit D/A converter, while an onboard microprocessor interfaces to a 16-bit A/D converter to monitor the output voltage. Each unit is factory calibrated to eliminate all system offsets and provide a linear voltage range of 0 to 75, 100, or 150V.

All user functions for the MDT693A and MDT694A are available within the provided software. The PC software is directly compatible to the National Instruments LabView environment, as well as standard RS-232 port emulation programs. All software upgrades can be downloaded from the Thorlabs website or requested through the Thorlabs technical support department.

9.1.1 Self Executable Software Overview

The self-executable software is a standalone program designed to provide access to all piezo driver hardware controls. In addition, a software signal generator is included to provide basic modulation control. Simple functions such as sine waves, ramps and pulses can be configured to control the piezo output.

9.1.2 Software Manual

The software manual is available in a *.pdf format. Also see section 10.

9.3 Baud Rate and Device Settings

9.3.1 COM Port Protocol

- Baud Rate: Table 1 (115200 default)
- Data Bits: 8
- Parity: none
- Stop Bits: 1
- Flow Control: none

9.3.2 Setting the Baud Rate

The MDT693A and MDT694A allow the user to choose a baud rate to better accommodate their system. The default baud rate is set to 115200Kbs and can be adjusted using the 4-position dipswitch, located inside the controller. Positions 1 to 3 are dedicated to setting the baud rate. Position 4 is no longer used for the MDT693A or MDT694A and may be ignored. See the figure and table below to adjust the proper settings. Follow the directions below for accessing the dip switch.

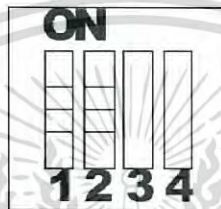


Figure 5 – Dip switch

Baud Rate Setting	D1	D2	D3	D4
9600Kbs	OFF	OFF	OFF	na
14400Kbs	OFF	OFF	ON	na
19200Kbs	OFF	ON	OFF	na
28800Kbs	OFF	ON	ON	na
34800Kbs	ON	OFF	OFF	na
57600Kbs	ON	OFF	ON	na
76800Kbs	ON	ON	OFF	na
115200Kbs	ON	ON	ON	na
Device Selection				
MDT693	na	na	na	ON
MDT694	na	na	na	OFF

Table 1 – Dip Switch Settings

1. Turn the unit off and unplug. Caution: High voltages are present inside when the unit is plugged in. DO NOT open the cover when the unit is plugged in.
2. Allow the unit to sit for about 5 minutes to ensure all voltage supplies and high voltage circuitry has a chance to discharge.
3. Remove the two screws holding the cover on. They can be found in the bottom rear of the unit. Slide the cover off.
4. Locate the dipswitch on the main board.
 - MDT693A – Located at the front center of the unit below the two 2x5 headers.
 - MDT694A – Located at the front center between the power switch and the display connection.
5. Set the appropriate settings using Table 1 for reference.
6. Replace the cover and reinstall the two screws.
7. Turn the unit on.

9.4 Serial Command Summary

Command:	AV
Input Parameters:	<voltage>
Description:	Sets all outputs to the set voltage. This command can be compared to the Master Scan function on the front panel.
Command:	XV
Input Parameters:	<voltage>
Description:	Sets the output voltage for the x axis of the MDT693A or to set the single output of the MDT694A to the desired voltage.
Command:	YV
Input Parameters:	<voltage>
Description:	Sets the output voltage for the y axis of the MDT693A to the desired voltage. This function has no affect when using with the MDT694A.
Command:	ZV
Input Parameters:	<voltage>
Description:	Sets the output voltage for the z axis of the MDT693A to the desired voltage. This function has no affect when using with the MDT694A.
Command:	XR?
Input Parameters:	?
Description:	Reads and returns the x axis output voltage for the MDT693A or the single output of the MDT694A.
Command:	YR?
Input Parameters:	?
Description:	Reads and returns the y axis output voltage for the MDT693A. This function has no affect when using with the MDT694A.
Command:	ZR?
Input Parameters:	?
Description:	Reads and returns the z axis output voltage for the MDT693A. This function has no affect when using with the MDT694A.
Command:	XL
Input Parameters:	<voltage> or ?
Description:	This function sets the minimum output voltage limit for the x axis of the MDT693A or the single output of the MDT694A. Sending the '?' parameter will return the current setting.
Command:	YL
Input Parameters:	<voltage> or ?
Description:	This function sets the minimum output voltage limit for the y axis of the MDT693A. Sending the '?' parameter will return the current setting. This function has no affect when using with the MDT694A.
Command:	ZL
Input Parameters:	<voltage> or ?
Description:	This function sets the minimum output voltage limit for the z axis of the MDT693A. Sending the '?' parameter will return the current setting. This function has no affect when using with the MDT694A.
Command:	XH
Input Parameters:	<voltage> or ?
Description:	This function sets the maximum output voltage limit for the x axis of the MDT693A or the single output of the MDT694A. Sending the '?' parameter will return the current setting.

Command: YH
 Input Parameters: <voltage> or ?
 Description: This function sets the maximum output voltage limit for the y axis of the MDT693A. Sending the '?' parameter will return the current setting. This function has no affect when using with the MDT694A.

Command: ZH
 Input Parameters: <voltage> or ?
 Description: This function sets the maximum output voltage limit for the z axis of the MDT693A. Sending the '?' parameter will return the current setting. This function has no affect when using with the MDT694A.

Command: I
 Input Parameters: none
 Description: This command will return the product header, firmware version, etc.

Command: E
 Input Parameters: none
 Description: When the echo mode is on the command parameters will be returned, or echoed back, to the communication program.

Command: %
 Input Parameters: none
 Description: Returns the output voltage limit setting. (75V returns 0, 100V returns 1, and 150V returns 2)



Section 10: Software Operation

10.1 Software Installation

All software required to operate the MDT693A and MDT694A can be found on the provided CD-ROM disk. Software updates may be available in the future and may be downloaded from the Thorlabs website at <http://www.thorlabs.com>. To install the software follow the procedure listed below.

10.1.1 Software Requirements

- Microsoft Windows 95/98/NT/2000/XP (Windows NT and 2000 will need administrator rights to install software)
- PC with a Pentium/AMD class processor (Pentium II recommended)
- 32MB or more RAM recommended
- 6 MB hard disk space
- CD-ROM drive
- Mouse or compatible pointing device
- 800 x 600 minimum display resolutions
- 256-color minimum

10.1.2 Software Installation Instructions

1. Place the provided software disk into the CD-ROM drive. The install program should auto start.
2. Start the Setup.exe file located on the CD-ROM disk if the auto start did not initiate.
3. Follow the on-screen prompts. The default location will be C:\Program Files\Thorlabs\. Note that the software will look for installed files in the directory provided. If any are found the program will uninstall the existing software (see section 10.1.3 for details). Run setup.exe again to reinstall.

Note: The Software will ask if you want to reboot. Select Yes.

4. Make sure that the MDT693A, or MDT694A, is connected to the correct computer COM port. Turn on the MDT693A or MDT694A.
5. Start the software by pressing "**Start > Program Files > Thorlabs > MDT695**".
6. Refer to Section 10 for software operation.

10.1.3 Software Uninstall Instructions

1. Place the provided software disk into the CD-ROM drive. The install program should auto start.
2. Start the Setup.exe file located on the CD-ROM disk if the auto start did not initiate.
3. The setup program will prompt the user for the install directory. Enter the directory of the existing software if different from the default.
4. The program will automatically uninstall any existing MDT695 software.
5. To reinstall the software see section 10.1.2.

10.2 Running the Software for the First Time

To start the Thorlabs Piezo Controller Software, click on **Start > Program Files > Thorlabs > MDT695**. The software will automatically determine the device type, MDT693A or MDT694A, and will try to connect to the piezo driver. The unit must be turned on prior to starting the program.

During the first time startup, the software will auto-detect the COM port and baud rate, starting with the system default values (i.e. baud = 115200KBs, port = COM1). If the device was not detected a communication error message will appear.

See the troubleshooting section for details on how to correct this problem. The port and baud rate settings will be remembered by the program and will be used during startup.

10.3 Overhead Menu Options

10.3.1 Exiting the Software

To exit the software, click **File > Exit** in the top menu structure.

10.3.2 Closing a Window

To close a window, click **File > Close** in the top menu. This will always display the compact view.

10.3.3 Setting the Default Startup Window

The user can change the default startup window by clicking **View > Start Window > {option}**. The will indicate the default startup device selected. The next time the user runs the piezo control software the default startup window will open.

10.3.4 Manually Adjusting the Communication Settings

It is possible to manually select the COM port and baud rate settings. To open the communications window click **Tools > COM Setup**. The window, seen below will appear. Select the "Manual Select" button and change the baud rate and COM port to the appropriate settings. Click the "Set Values" Button to remember settings. "OK" will close the window. For further details on the communication protocol or hardware setup see "Appendix B – Baud Rate and Device Settings".

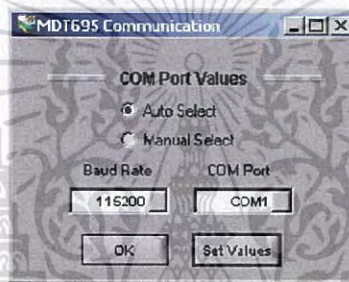


Figure 6 – COM Port Settings

10.3.5 Voltage Limit Settings

Voltage limits may be set to limit the output voltage driving the piezo device. These voltage limits may be used for two purposes. They can provide a voltage limit that will prevent accidentally overdriving lower voltage piezos (Piezos with maximum voltages less than 150V). They may also be used to set the mechanical travel limits.

It should be noted that these limits do not limit the MDT693A/MDT694A directly. The limits prevent devices from being overdriven by the software. They will not limit the adjustment knobs located on the front panel of the MDT693A or MDT694A. The MDT693A and MDT694A will add the manual control knobs, the external input, and the software-generated signals. For example, a 75V limit is set through software. The software and control card will not output a voltage greater than 75V. However, the user may still adjust the manual adjustment knob, or add a signal to the Ext Input BNC that will cause the output voltage to exceed 75V.

To access the voltage limit window click **Tools > System Setup** in the top menu. See Figure 7 for details. Limits for each channel can be changed by clicking on the appropriate box and entering the voltage, or by using the up/down arrows. A global limit box is available to provide one limit for all channels. To use this option, check the enable box and fill in the limit values. Note that the X, Y, and Z limit adjustments will be made unavailable. Press "OK" to accept new values, "Cancel" to close panel, or "Restore Defaults" to reset all values to the max limit settings (min = 0V, max = 150V).

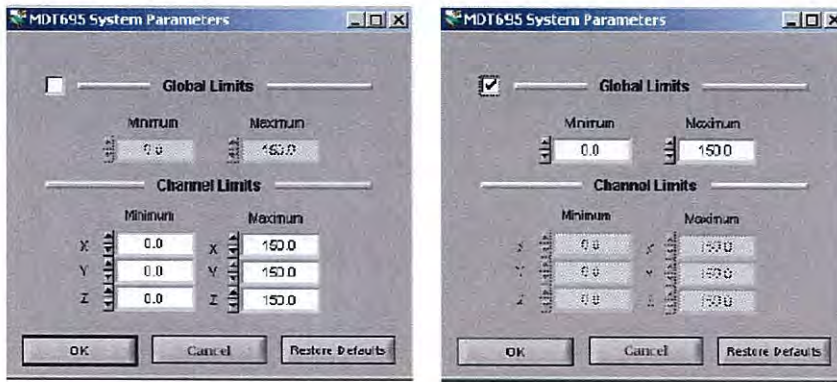


Figure 7 – Voltage Limit Window

10.3.6 Help > About Windows

The **Help > About MDT695** screen will provide the customer with all of the pertinent information about the system such as the controller (MDT693A / MDT694A), software version, and firmware version. The **Help > About Thorlabs** window will provide the customer with all of the pertinent Thorlabs contact information.

10.4 The Compact Window

As soon as the Piezo Controller Software connects to the MDT693A/MDT694A the Compact window will appear (see figure 8). The software will automatically determine the host device, MDT693A or MDT694A, through the serial connection.

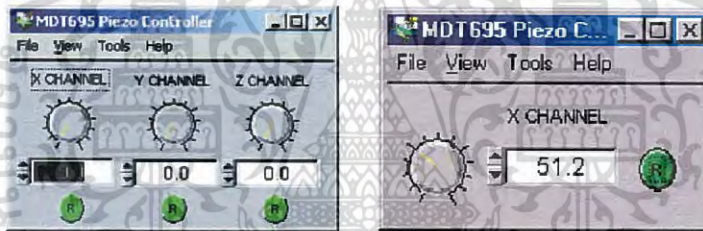


Figure 8 – Compact Window

The compact windows shown provide the simplest operation of the piezo controller. Thorlabs recognizes the need for a small interface window. In most cases the piezo controller software will be used while operating other software. To minimize interference the compact window should be used.

10.4.1 Changing the Voltage

The output voltage for each channel can easily be adjusted in three ways:

1. The mouse cursor may be used to adjust the knob available for each channel.
2. The ▲ and ▼ arrows may be used to increase or decrease the output voltage with a 0.1V resolution.
3. The voltage may be directly changed by clicking on the text box and typing in the desired voltage. The text box will accept values to three decimal places. The output will be set to the nearest 16-bit value.

Note that the display box will round this number, however this will not affect the voltage setting.

10.4.2 Reset Buttons

The reset buttons, marked "R", allows the user to quickly set the output voltages to the minimum voltage limit, typically 0 volts (see the "Voltage Limit Settings" section for details). This button is available on most panels.

10.5 The Main Panel Window

For more complete control of the piezo driver output the main window should be used. From this window all voltages can be adjusted as described above, however the function generator mode and master scan mode (not available when operating the MDT694A) will now be available. To open the main window click **View > Main Panel** in the top menu. To revert back to the compact view, simply click **View > Compact Panel** in the top menu. The main window can be seen in Figure 9.

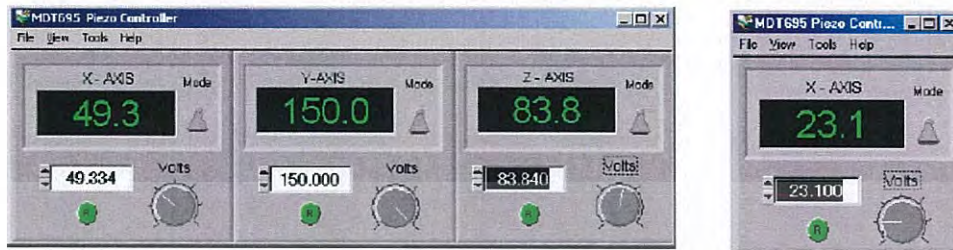


Figure 9 – Main View Window

10.5.1 Display Mode Switch

The displays are capable of operating in two modes while using the full screen window. The default mode (shown in figure 9) will display the DC output voltage. The voltage controls below will change the voltage and maintain the setting until the next adjustment.

Toggle the "Mode" switch, located next to each display, will change the display to the graph mode. The display will change from a numerical to graphical format. In order to adjust the graphical settings, open the "Function Generator" window by clicking **View > Function Generator** located in the top menu.

10.6 The Master Scan Window

The master scan option operates exactly the same as the MDT693A master scan mode. The voltage control adjusts the output voltage of all channels simultaneously with the same voltage. To enable this option click **View > Master Scan** in the top menu. Note that this option is only available with the multi-channel MDT693A. The window shown in Figure 10 will appear. Toggle the "Master Scan" switch to enable this feature.

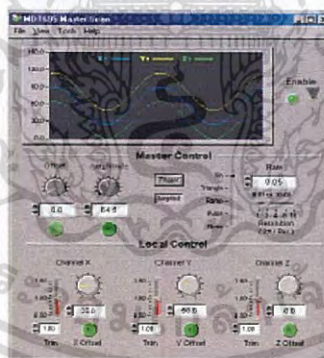


Figure 10 – Master Scan Window

10.6.1 Master Controls

Offset Voltage - An offset voltage can be added to all channels by adjusting this control. Simply adjust the knob, located to the left of the "Master Control" section. The offset voltage range can be adjusted in the system settings window (see "Voltage Limit Settings" section for details).

Amplitude Control - The amplitude control adjusts the peak-to-peak voltage level of an input function. Simply adjust the knob to change the amplitude from 0V to the voltage limit. Note that this voltage is added to the offset voltage. If the signal plus the offset exceed the voltage limit (typically 150V) the signal will be clipped at the limit.

Function Bar - This slide bar allows the user to select a function, such as Sine, Triangle, Ramp, or Pulse wave forms, to be output to the piezo device.

Trigger Button - The trigger button clears the graph window and resets all functions to start from their 0 position.

Legend Button - This button will display the graph legend on the graph, providing the user an easy way to distinguish between displayed channels.

Rate Control - The rate control adjusts the speed of the sampling rate. This is based on an internal timer and may vary from computer to computer. These numbers are not based on a fixed sample time, such as ms.

Resolution Control – The resolution adjusts the number of samples per waveform. The max number is 180 samples per waveform (2p). The resolution bar displays the factor that 180 is divided by.

Example Resolution is equal to 4. The number of samples per function period equals $180/4$ or 45.

10.6.2 Local Controls

Trim Gain - The Scan Trim Gain allows the user to compensate for differences in displacement (i.e. volt to displacement slope) between piezo elements by scaling the master control signal per channel. To adjust the gain simply adjust the slide bar or enter the correct gain into the box. Any voltage or graph signals will be amplified or scaled by this value.

Offset Control - The offset controls for each channel allow the user to set an offset voltage independent of the other channels. This offset is added to the master offset and the function.

10.7 The Function Generator Window

The function generator window operates with the main panel. It allows the user to apply simple modulation functions to the output. To operate with higher frequency or waveforms it is recommended that the EXT input BNC's are used. To access this window click **View > Function Generator**. The functions will not be applied to the output until the correct display mode is selected in the main window.

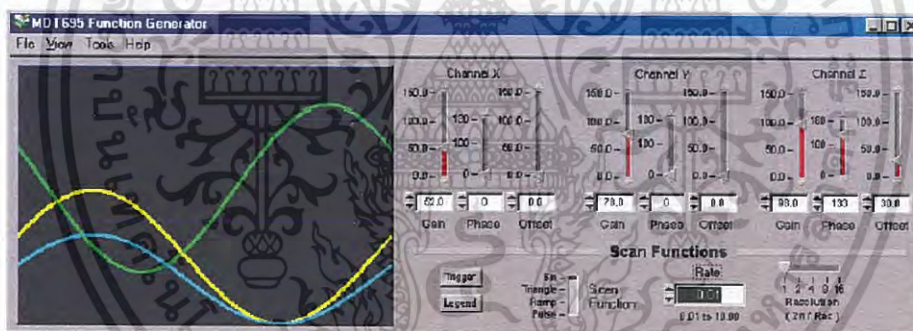


Figure 11 – Function Generator Window

Gain Control - The gain control adjusts the peak-to-peak voltage level of the function. Simply adjust the slide bar or input the voltage in the text box to change the amplitude from 0V to the voltage limit. Note that this voltage is added to the channel offset voltage. If the signal plus the offset exceed the voltage limit (typically 150V) the signal will be clipped at the limit. The voltage limits can be adjusted in the system setup window.

Offset Control - The offset controls for each channel allow the user to set an offset voltage independent of the other channels. This offset is added to function and is limited by the voltage limit settings.

Phase Control - The phase control bars allow the user to change the phase between channels. To adjust simply move the slide bar or add the appropriate phase correction to the text box.

Trigger Button - The trigger button clears the graph window and resets all functions to start from their 0 position.

Legend Button - This button will display the graph legend on the graph, providing the user an easy way to distinguish between displayed channels.

Function Bar - This slide bar allows the user to select a function, such as Sine, Triangle, Ramp, or Pulse waveforms, to be output to the piezo device.

Rate Control - The rate control adjusts the speed of the sampling rate. This is based on an internal timer and may vary from computer to computer. These numbers are not based on a fixed sample time, such as ms.

Resolution Control -The resolution adjusts the number of samples per waveform. The max number is 180 samples per waveform (2π). The resolution bar displays the factor that 180 is divided by. Example: Resolution is equal to 4. The number of samples per function period equals $180/4$ or 45.

10.8 Serial Port Error Messages

10.8.1 "System Setting Error"

These messages may appear while operating in the System Parameters window (Tools > System Setup). They indicate that an out of range voltage was selected for a limit setting. The full range is 0V to 150V. Any voltages less than 0V, or greater than 150V, will cause these errors to occur. Check the limit values and correct where necessary.

10.8.2 "MDT695 File Error"

This error message indicates that one of the system .ini files was not found or that the system could not save settings to an .ini file. An .ini file may not be found if it was deleted, moved or corrupted. The program will create a new file and will use the default settings. Remember that your settings should be updated before using the driver. Example: the default voltage limits may be reset. If the device connected requires voltages to be less than the default, there will be no piezo protection. Note that some operating systems may not allow the user to save or update system settings files without administrator rights (Windows NT/2000). If this message occurs ("MDT695 File Error", "I/O File error, could not save new system settings, using defaults...") contact your system administrator.

10.8.3 "Communication Error"

Communication errors occur when the software cannot communicate with the MDT695. To correct this problem verify that the device is host driver (MDT693 or MDT694) is plugged in and the power is on. Verify that the serial cable is securely connected to the computer COM port. The cable provided with the MDT695 must be used. A standard serial cable will not work. If a replacement is required, contact Thorlabs. Also note that this error will also occur if the baud rate and com ports are manually set to the wrong values. Either correct the settings or select auto-detect so that the software detects the correct settings.

10.8.4 "RS232 Communication"

This is a Windows generated error, which may occur if the COM ports are being used by another device. To correct this, verify the communication settings and hardware connections. If everything appears OK, reboot the computer.

Section 11: Maintenance and Troubleshooting

11.1 Cleaning

The MDT693A/MDT694A should only be cleaned with a soft cloth and mild soap detergent or isopropyl alcohol. Do not use a solvent-based cleaner. Do not use any cleaners on the LED display windows since the finish may be marred.

11.2 Maintenance and Troubleshooting

The MDT693A and MDT694A have no user serviceable parts. Do not open the unit. High voltages exist inside. If problems occur contact a Thorlabs representative to arrange for a repair, for replacement, or for general operation questions.

Section 12: Contacts

USA, Canada, and South America

Thorlabs, Inc.
435 Route 206
Newton, NJ 07860
USA
Tel: 973-579-7227
Fax: 973-300-3600
www.thorlabs.com
email: feedback@thorlabs.com

Japan and Asia

Thorlabs Japan Inc.
5-17-1, Ohtsuka
Bunkyo-ku Tokyo 112-0012
Japan
Tel: 81-3-5977-8401
Fax: 81-3-5977-8402
www.thorlabs.jp
email: sales@thorlabs.jp

Europe

Thorlabs GmbH
Gaußstr. 11
85757 Karlsfeld
Germany
Tel: +49-(0)8131-5956-0
Fax: +49-(0)8131-5956-99
www.thorlabs.com
email: Europe@thorlabs.com