



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาระบบควบคุมตำแหน่งของอนุภาคในระดับไมโครเมตรผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์
เพื่อประยุกต์ใช้ในการจับอนุภาคของคีมจับเชิงแสง

Developing the Automated XY Translation System
for the Application in Optical Tweezers

นายวรการ นียากร

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2553

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

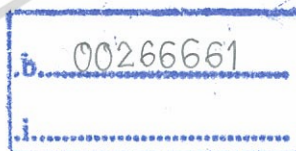


รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาระบบควบคุมตำแหน่งของอนุภาคในระดับไมโครเมตรผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์
เพื่อประยุกต์ใช้ในการจับอนุภาคของคีมจับเชิงแสง

Developing the Automated XY Translation System
for the Application in Optical Tweezers

นายวรการ นียากร



ลงทะเบียน...
เลขทะเบียน 147254
รับเดือนปี 13 ก.ค. 2560

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2553

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การพัฒนาระบบควบคุมตำแหน่งของอนุภาคในระดับไมโครเมตรผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อประยุกต์ใช้ในการจับอนุภาคของคิมจับเชิงแสง

แหล่งเงิน งบประมาณเงินรายได้

ประจำปีงบประมาณแผ่นดินปี 2553 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 50,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2553 ถึง ตุลาคม 2554

หัวหน้าโครงการ นายวรการ นียากร ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สจล.

บทคัดย่อ

ระบบคิมจับเชิงแสง (optical tweezers) ได้รับความนิยมนอย่างมากในสาขาฟิสิกส์และชีววิทยาหลังจากการค้นพบว่าเราสามารถใช้แรงจากแสงดักจับวัตถุขนาดเล็กขนาดตั้งแต่หลายสิบลไมโครเมตรลงไปจนถึงขนาดประมาณ 20 นาโนเมตรให้หยุดนิ่งอยู่กับที่โดยไม่ต้องเอื้อมไปจับอนุภาคโดยตรง เทคนิคนี้ได้ถูกนำพัฒนาและประยุกต์ใช้ในงานวิจัยด้านต่างๆ อย่างแพร่หลาย แต่สิ่งหนึ่งที่สำคัญคือความสามารถในการควบคุมอนุภาคให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและทันเวลา งานวิจัยนี้จึงเป็นการพัฒนาระบบควบคุมตำแหน่งของอนุภาคในระดับไมโครเมตร โดยเป็นการเขียนโปรแกรมควบคุมฐานเลื่อน Piezo Stage ในแนวแกน XY โดยการป้อนแรงดันไฟฟ้าผ่านเครื่อง 3 AXIS PIEZO CONTROLLER ซึ่งมีความละเอียด และแม่นยำ และทำการติดตั้งระบบฐานเลื่อน Piezo Stage พร้อมโปรแกรม ร่วมกับระบบคิมจับเชิงแสง โดยการติดตั้งกับกล้องจุลทรรศน์เพื่อสะดวกต่อการเชาระบบภาพ โดยในงานนี้ได้ทำการเก็บภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหวจากกล้อง วิดีโอ จากนั้นทำการทดสอบการเลื่อนฐาน Piezo Stage พร้อมทั้งวัดระยะเวลาการเลื่อนแบบปรับไมโครมิเตอร์เทียบกับระยะเวลาการเลื่อนฐานด้วยการป้อนแรงดันไฟฟ้า ซึ่ง Piezo Stage เลื่อนได้อย่างอัตโนมัติด้วยระยะ 0.4 ไมโครเมตรต่อแรงดันไฟฟ้า 1 โวลต์ โดยสังเกตการเลื่อนของตำแหน่งอนุภาคโดยอนุภาคตัวอย่างที่มีขนาดเล็กในระดับไมครอน โดยในที่นี้ระบบจะแสดงการควบคุมอนุภาคได้อย่างอัตโนมัติตามที่กำหนดและในอนาคตสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อศึกษากลไกทางด้านระบบชีววิทยาได้ต่อไป

คำสำคัญ : คิมจับเชิงแสง, การควบคุมฐานเลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Developing the automated XY translation system for the applications in Optical Tweezers

Researcher: Dr. Worakarn Neeyakorn

Faculty: Science **Department:** Physics

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 work, the setup of the optical tweezers system which is based on an inverted microscope design is developed. We then focus on programming the piezo stage (or xyz translation stage) integrated within the optical tweezers system. The result has shown that program can control to piezo stage along the x or y axis within the micrometer scale from several captured images and videos from the web camera. Then we also tested and calibrated the movement of the xy translation stage controlled by the written program by measuring the distances comparing with actual distances read from micrometer. From the experiment, the piezo stage moves about $0.4 \mu\text{m}/\text{V}$. This system shows it can automatically control any particles in real time in microscale and, in the future, it can be applied as a tool to study the mechanical of biological systems.

Keywords : Optical Tweezers, Piezo translational stage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ดีเนื่องจากได้รับคำปรึกษาที่ดีจาก ผศ.ดร.ประธาน บุรณศิริ และคณาจารย์ในภาควิชาฟิสิกส์ รวมถึงนายวีระชัย พรประสิทธิ์และนางสาวโสภา จิตยะแสง นักศึกษาภาควิชาฟิสิกส์ที่ได้มีส่วนร่วมสำคัญในการทำให้งานวิจัยเสร็จสิ้นเรียบร้อย และงานวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ของคณะวิทยาศาสตร์ ประจำปีงบประมาณแผ่นดินปี 2553

ดร. วรการ นียากร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 คีมจับเชิงแสงคืออะไร	3
2.2 หลักการทำงานของคีมจับเชิงแสง	4
2.2.1 กรณี ขนาดของอนุภาค d น้อยกว่าความยาวคลื่นแสงเลเซอร์	4
2.2.2 กรณี ขนาดของอนุภาค d มากกว่าความยาวคลื่นแสงเลเซอร์	4
2.3 การใช้คีมจับเชิงแสงในการวัดแรง	6
2.4 คีมจับเชิงแสงแบบออปติคส์ในอากาศ	7
2.4.1 เลเซอร์สำหรับจับอนุภาค	7
2.4.2 เลนส์วัดถูกล้องจุลทรรศน์	7
2.4.3 อุปกรณ์บังคับตำแหน่งคีมจับเชิงแสงและการเลื่อนระนาบตัวอย่าง	8
2.4.4 อุปกรณ์บันทึกภาพและตำแหน่งของอนุภาค	8
2.5 การประยุกต์ใช้งานคีมจับเชิงแสงทางด้านชีววิทยาในระดับเซลล์	8
2.6 การประยุกต์ใช้ LabVIEW กับ Optical Tweezers ในเชิงควบคุมการตรวจจับอนุภาค	8
2.6.1 การใช้ LabVIEW เบื้องต้น	9
2.6.2 การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานโดย LabVIEW	10
2.7 Piezo Electric คืออะไร	11
2.7.1 ไพเอโซอิเล็กทริกเซรามิก	11
2.7.2 หลักการทำงานของสารไพเอโซอิเล็กทริกเซรามิก	11
2.7.2.1 หลักการทำงานของไพเอโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์	12
2.7.2.2 หลักการทำงานของไพเอโซอิเล็กทริกแอกชวลเอเตเตอร์	12
2.7.3 ลักษณะการทำงานของไพเอโซอิเล็กทริกเซรามิก	13
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้	

สารบัญ (ต่อ)

2.7.3.1 การทำงานในลักษณะของ longitudinal mode	13
2.7.3.2 การทำงานในลักษณะของ Transverse mode	13
2.7.4 คุณสมบัติทางไฟฟ้าและทางกลของไพโซโซลิด์ทริกเซรามิก	13
2.8 NanoMax TS 3 Axis Flexure Stage	14
2.8.1 Manual Differential Drives and Differential Micrometer Drives	15
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	16
3.1 เขียนโปรแกรม ในการควบคุมการเลื่อนตำแหน่งของ Piezo Stage	16
3.2 การเตรียมอนุภาคตัวอย่าง (Polystyrene ball) และการออกแบบ Slide	18
3.3 ออกแบบและวางแผนการสร้างอุปกรณ์คีมจับเชิงแสง	18
3.4 ขั้นตอนการติดตั้งระบบคีมจับเชิงแสง	20
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	22
4.1 ผลการทดสอบการเขียนโปรแกรม LabVIEW เพื่อควบคุม 3 AXIS PIEZO CONTROLLER	22
4.2 การวัดตำแหน่งการเลื่อน Piezo Stage ด้วยไมโครมิเตอร์และด้วยโปรแกรมในแนวแกน XY	23
4.2.1 การวัดตำแหน่งการเลื่อน Piezo Stage แบบ ผ่านโปรแกรมที่แรงดันไฟฟ้า 0-45 V	24
4.2.2 การวัดตำแหน่งการเลื่อน Piezo Stage แบบ Manual 0-20 ไมโครเมตร	26
4.2.3 การเปรียบเทียบการเลื่อน Piezo Stage ด้วยไมโครมิเตอร์และผ่านโปรแกรม	28
บทที่ 5 สรุปผลวิจัย	31
เอกสารอ้างอิง	32
ภาคผนวก	33

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 แสดงภาพแสดงระยะการเลื่อนเม็ดปิวัดที่ระยะต่างๆในแนวแกน X โดยดูจากช่อง Ocular Micrometer	25
ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบระยะเลื่อนโดยไมโครมิเตอร์และระยะเลื่อนโดยผ่านโปรแกรมควบคุม	28



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงถึงการทำงานระบบของคีมจับเชิงแสง	3
รูปที่ 2.2 อธิบายต้นกำเนิดของแรง Gradient force	5
รูปที่ 2.3 แสดงแรงจากแสงตั้งอนุภาคเข้าหาจุดโฟกัส	6
รูปที่ 2.4 อุปกรณ์ทดลองคีมจับเชิงแสงแบบออปติคส์ในอากาศ	7
รูปที่ 2.5 การประยุกต์ใช้คีมจับเชิงแสงในเซลล์สิ่งมีชีวิต	9
รูปที่ 2.6 Front Panel และ Block Diagram ของ LabVIEW	15
รูปที่ 2.7 แสดง Block Diagram ของโปรแกรมเพื่อควบคุม Piezo Stage ในตำแหน่ง xyz โดยการปรับค่าแรงดันไฟฟ้า	18
รูปที่ 2.8 การทำงานของไพเอโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์	12
รูปที่ 2.9 การทำงานของไพเอโซอิเล็กทริกแอคชูเอเตอร์	12
รูปที่ 2.10 ลักษณะการทำงานของ Longitudinal mode ของไพเอโซอิเล็กทริกเซรามิก	13
รูปที่ 2.11 ลักษณะการทำงานของ Transverse mode ของไพเอโซอิเล็กทริกเซรามิก	13
รูปที่ 2.12 คุณสมบัติทางไฟฟ้าและทางกลของไพเอโซอิเล็กทริกเซรามิก	14
รูปที่ 2.13 ลักษณะการยืดหดของวัสดุที่เป็นสารไพเอโซอิเล็กทริกเซรามิก	14
รูปที่ 2.14 แสดงถึง NanoMax TS 3 Axis Flexure Stage	15
รูปที่ 2.15 แสดงถึง Reading micrometer drives	15
รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรม LabVIEW	16
รูปที่ 3.2 แสดงในส่วนการเขียน Visa Configure Port	17
รูปที่ 3.3 แสดง Block Diagram ของโปรแกรมควบคุมตำแหน่ง Piezo Stage ผ่าน 3 AXIS PIEZO CONTROLLER	17
รูปที่ 3.4 ภาพถ่ายแสดงอนุภาคตัวอย่างที่ปิดด้วย coverslip	18
รูปที่ 3.5 ภาพแสดงการวางอุปกรณ์ฐานเลื่อนกับชุดคีมจับเชิงแสง	18
รูปที่ 3.6 แสดงภาพการติดตั้ง Piezo stage เข้ากับตัวกล้องจุลทรรศน์แบบส่องขึ้น	19
รูปที่ 3.7 แสดงภาพอนุภาคตัวอย่าง (Polystyrene balls) ที่มองผ่านอุปกรณ์การมองภาพ	20
รูปที่ 4.1 แสดง Block Diagram ของโปรแกรมควบคุมตำแหน่ง Piezo Stage	21
รูปที่ 4.2 แสดงผลการ RUN โปรแกรม ของเครื่อง 3 axis Piezo controller ที่แรงดันไฟฟ้าค่าต่างๆ	22
รูปที่ 4.3 แสดงภาพ Ocular Micrometer	22
รูปที่ 4.4 แสดงภาพสเกลของ Ocular Micrometer เมื่อมองจากกล้องจุลทรรศน์	22
รูปที่ 4.5 แสดงภาพการเลื่อนตำแหน่งในแนวแกน X ของเม็ดพอลิสไตรีนแบบโปรแกรม	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.6 แสดงภาพการเลื่อนตำแหน่งในแนวแกน Y ของเม็ดพอลิสไตรีนแบบโปรแกรม	24
รูปที่ 4.7 แสดงภาพการเลื่อนตำแหน่งในแนวแกน Y ของเม็ดพอลิสไตรีนแบบโปรแกรม	25
รูปที่ 4.8 แสดงกราฟการเลื่อนตำแหน่ง Piezo Stage แบบผ่านโปรแกรมโดยการป้อนแรงดันไฟฟ้า ในแนวแกน X	28
รูปที่ 4.9 แสดงกราฟการเลื่อนตำแหน่ง Piezo Stage แบบผ่านโปรแกรมโดยการป้อนแรงดันไฟฟ้า ในแนวแกน Y	29



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

หลังจากที่ Askhin และเพื่อนร่วมทีมที่ห้องปฏิบัติการเบลล์ (Bell Labs) ได้ศึกษาและค้นพบว่าเราสามารถนำแสงจากแสงดักจับวัตถุขนาดเล็กขนาดตั้งแต่หลายสิบลำไมโครเมตรลงไปจนถึงขนาดประมาณ 20 นาโนเมตรให้หยุดนิ่งอยู่กับที่โดยไม่ต้องเอื้อมไปจับอนุภาคโดยตรง ซึ่งเครื่องมือกลไม่สามารถกระทำได้ความสำเร็จของทีมงาน Askhin ได้ทำให้เกิดการตื่นตัวอย่างมากในสาขาวิชาชีววิทยา เคมี ฟิสิกส์ และทางการแพทย์[1] เทคนิคนี้ได้ถูกนำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้ในงานวิจัยด้านต่างๆ อย่างแพร่หลาย ในทางชีววิทยาเราสามารถนำเข็มจับแสงดักจับเซลล์ไปจนถึงจนถึงระดับโมเลกุลใหญ่ๆ เช่นโปรตีนได้ ซึ่งมีประโยชน์ต่อการศึกษา และสามารถนำไปประยุกต์ทำอุปกรณ์ต่างๆ ได้หลายอย่างเช่นเครื่องตรวจจับไวรัสและเซลล์มะเร็ง เป็นต้น โดยหลักการที่นำมาศึกษาเกี่ยวกับสิ่งที่เล็กมากๆ หรือระบบที่เล็กมากๆ คือ การใช้แสงในการจับอะตอมหรืออนุภาคที่เรียกว่า คีมจับแสง (Optical Tweezers) เป็นการใช้หลักการของแรงจากแสงในการตรวจจับอนุภาค แสงสามารถจับอนุภาคได้เนื่องจากอาศัยการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม ซึ่งโมเมนตัมที่เปลี่ยนแปลงไปจะขึ้นอยู่กับอนุภาคที่ต้องการศึกษา คุณสมบัติของแสง และกำลังของแสงในการจับอนุภาคแรงที่เกิดจากแสงนี้จะเกิดขึ้นเมื่อมีการโฟกัสแสงลงไปใกล้ๆ กับอนุภาคที่เราต้องการตรวจจับ ที่มีความโปร่งใสระดับหนึ่ง เพื่อให้แสงสามารถหักเหเข้าไปภายในและสะท้อนที่พื้นผิวได้ แสงที่เกิดจากการใช้ลำแสงเลเซอร์ (Laser Beam) ในการตรวจจับอนุภาคนั้นทำให้เกิดแรงขึ้นมา 2 แบบ คือ แบบแรกเป็นแรงกระเจิง (Scattering force) เป็นแรงที่มีทิศทางขนานกับทิศทางของแสงตกกระทบ ส่วนแรงอีกชนิดหนึ่งเรียกว่า แรงเกรเดียนต์ (Gradient force) ซึ่งมีทิศทางตั้งฉากกับทิศทางของแสงตกกระทบและพุ่งเข้าสู่บริเวณที่มีกำลังของแสงสูงสุดเนื่องจากแสงเลเซอร์ส่วนใหญ่จะมีกำลังของแสงสูงสุดที่บริเวณกลางลำแสงและค่อยๆ ลดลงออกมาตามแนวรัศมี

ในบางประเภทของงานวิจัยที่ต้องการความเที่ยงตรงในการดักจับและเคลื่อนย้ายอนุภาคไปยังตำแหน่งอื่นที่ต้องการ อนุภาคนั้นอาจจะเคลื่อนหลุดออกจากจุดโฟกัสได้ในระหว่างการเคลื่อนที่ ด้วยเหตุนี้โครงการวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายที่จะพัฒนาเครื่องต้นแบบที่เราสามารถเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคให้เคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ต้องการด้วยความเที่ยงตรง และจากการศึกษา งานวิจัยที่ได้มีการพัฒนากันมาอย่างต่อเนื่องโดยระบบของคีมจับแสงยังคงมีการใช้กล้องจุลทรรศน์และแท่นเลื่อนของกล้องจุลทรรศน์ในการปรับโฟกัสภาพ แต่ไม่สามารถการควบคุมอนุภาคในระดับไมโครเมตรได้ ในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาและพัฒนาการใช้ Piezo Stage แทนการใช้แท่นเลื่อนของกล้องจุลทรรศน์เพื่อให้ได้ความละเอียดในระดับไมโครเมตรและเขียนโปรแกรม LabVIEW มาใช้ในการควบคุม Piezo Stage โดยอาศัยหลักการของ Piezoelectric Actuators ที่มีลักษณะการยืดหรือหดได้เมื่อมีการป้อนแรงดันไฟฟ้า โดยในที่นี้จะทำการป้อนแรงดันไฟฟ้าไปยัง 3 Axis Piezo Controller โดยโปรแกรม LabVIEW ผ่านการเชื่อมต่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบอนุกรม Serial Port และส่งไปยัง Piezo Stage ส่งผลให้เกิดการเลื่อนในระยะที่ละเอียดและสามารถลดความคลาดเคลื่อนลงได้ จากงานวิจัยนี้ยังแสดงการติดตั้งระบบคิมจับเชิงแสงอย่างง่ายโดยใช้ Piezo Stage ร่วมกับระบบเพื่อสังเกตการเคลื่อนตัวของอนุภาคเมื่อ Piezo Stage มีการป้อนแรงดัน รวมไปถึงการพัฒนา ระบบคิมจับเชิงแสงให้มีการควบคุมระยะการเลื่อนของ Piezo Stage ตลอดจนถึงสถานะที่สามารถดักจับอนุภาคได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษา ออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมตำแหน่งของอนุภาคในระดับไมโครเมตรผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อประยุกต์ใช้ในการจับอนุภาคของคิมจับเชิงแสง
- 2) เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในงานวิจัยพื้นฐานและวิจัยเชิงประยุกต์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

เพื่อศึกษา ออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมตำแหน่งของอนุภาคในระดับไมโครเมตรผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อประยุกต์ใช้ในการจับอนุภาคของคิมจับเชิงแสง โดยจะมุ่งเน้นเกี่ยวกับการศึกษาการควบคุม การเลื่อนของ Piezo Stage โดยเขียนโปรแกรม LabVIEW ในระบบของการป้อนแรงดัน พร้อมทั้งวัดระยะการเลื่อนในระดับไมโครเมตรในเชิงการเปรียบเทียบกับ การปรับไมโครมิเตอร์ พร้อมทั้งออกแบบอุปกรณ์คิมจับเชิงแสงอย่างง่ายเพื่อสังเกตการเคลื่อนตัวของอนุภาค

1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย

- 1.4.1) ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับหลักการทำงานของคิมจับเชิงแสงและการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองรวมทั้งโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมผลการทดลอง
- 1.4.2) วางแผนการติดตั้งอุปกรณ์ของคิมจับเชิงแสง และสรุปทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการทดลอง
- 1.4.3) ทำการวัดระยะเลื่อน Piezo Stage เพื่อเทียบกับการปรับไมโครมิเตอร์
- 1.4.4) สรุปผลการทดลองต่างๆและนำเสนอผลการทดลอง 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

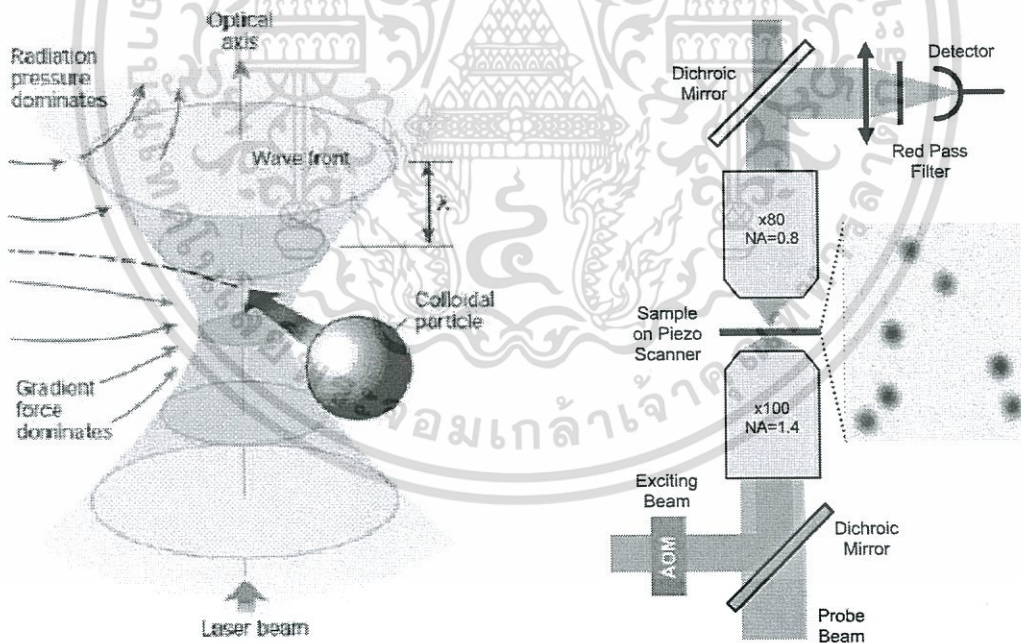
มีระบบควบคุมตำแหน่งของอนุภาคในระดับไมโครเมตรผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยการป้อนแรงดันไฟฟ้าเพื่อประยุกต์ใช้ในงานวิจัยขั้นสูงต่อไป

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึงหลักการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยโดยอธิบายนิยามเบื้องต้นของระบบคีมจับเชิงแสงโดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในการควบคุม Piezo Stage รวมถึงเครื่องมือที่ใช้ในการติดตั้งระบบคีมจับเชิงแสงอย่างง่ายอีกด้วย

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] ความสำคัญของ Optical Tweezers ก็คือการโฟกัสแสงเลเซอร์โดยเลนส์วัตถุของกล้องจุลทรรศน์ (Microscope objective) ลงมาที่อนุภาคขนาดเล็ก ซึ่งอนุภาคจะถูกกักไว้ที่จุดโฟกัสของเลเซอร์ เจื่อนไขโดยทั่วไปของการดักจับอนุภาคด้วยเลเซอร์คืออนุภาคจะต้องโปร่งใสและดัชนีหักเหมากกว่าตัวกลางรอบๆอนุภาค ในการที่จะควบคุมและเคลื่อนอนุภาคแต่ละอนุภาคในระดับนาโนเมตรถึงไมโครเมตรเพื่อรักษาแรงที่กระทำต่อวัตถุทั้งหมดให้คงที่ด้วยมือ นั้นไม่ใช่เรื่องง่าย ความเที่ยงตรงและความเร็วคือข้อจำกัด ดังนั้นการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการควบคุมลำแสงอนุภาคหลังจากถูกจับด้วยแสงเลเซอร์แล้ว ซึ่งก็คือการควบคุมฐานของระบบ x-y piezo translation stage จึงเป็นสิ่งสำคัญ



รูปที่ 2.1 แสดงถึงการทำงานของระบบของคีมจับเชิงแสง (a) Optical Tweezers ที่เกิดจากการโฟกัสแสงเลเซอร์ให้เป็นจุดเล็กๆ เพื่อดักจับวัตถุ ขนาดเล็ก ซึ่งหัวใจสำคัญของการจับอนุภาคด้วยแสงก็คือการใช้เลนส์รวมแสงที่มีค่า Numerical aperture สูงเพื่อให้เกิดความแตกต่างของความเข้มชั้นแสงที่มากส่งผลให้แรง Gradient force มากกว่าแรง Scattering force จึงสามารถจับอนุภาคในสามมิติได้[3] (b) โครงสร้างระบบของคีมจับเชิงแสง [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 หลักการทำงานของคีมจับเชิงแสง

ทฤษฎีการทำงานของ Optical Tweezers สามารถแยกพิจารณาได้ สองกรณีคือ

2.2.1 กรณี ขนาดของอนุภาค d น้อยกว่าความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์

ในกรณีนี้ สนามไฟฟ้าจากแสงเลเซอร์ ที่ผ่านอนุภาค ที่ขณะใดๆ จะถือว่าค่อนข้างสม่ำเสมอ และมีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ เพียงพอที่ ประจุในอนุภาคจะเคลื่อนที่ตามการเปลี่ยนแปลงได้ทัน และสามารถใช้ทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า เกี่ยวกับการเหนี่ยวนำประจุ และพลังงานสะสมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในฉนวน (Dielectrics) มาคำนวณหาแรงได้ กล่าวคือ เมื่ออนุภาค Dielectric อยู่ในสนามไฟฟ้า E จะเกิดการเหนี่ยวนำไดโพลไฟฟ้าขึ้น มีผลทำให้เกิดสนามไฟฟ้าเหนี่ยวนำ E_{in} ในทิศต้าน สนามไฟฟ้าเดิม มีผลทำให้ขนาดโพลาไรซ์ $E_f = E - E_{in}$ มีค่าลดลง ดังนั้นพลังงานสะสมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า $U \sim E^2$ ใน Dielectric จึงมีค่าลดลง เทียบกับตอนไม่มี Dielectric ทำให้อนุภาคมุ่งเข้าสู่จุดโฟกัสของแสงเลเซอร์ เพราะเป็นจุดที่สนามไฟฟ้าจากแสงเลเซอร์มีค่าสูงสุด เพื่อที่ระบบจะได้มีพลังงานต่ำลงนั่นเอง แรงในการดักจับอนุภาคด้วยแสงเลเซอร์สามารถคำนวณได้จาก

$$F = -\nabla U$$

ซึ่งเรียกแรงในลักษณะนี้ว่า Gradient force ซึ่งเกิดจากผลต่างของความเข้มกับความสามารถในการควบคุมแสงให้โฟกัสลงมาเป็นจุดที่เล็กที่สุดเพื่อให้เกิดผลต่างของความเข้มข้นแสงที่มากที่สุด

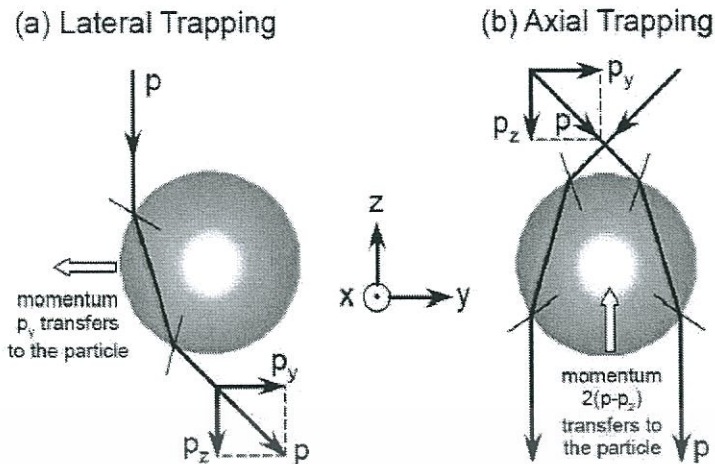
นอกจาก Gradient force แล้วยังมีแรง Scattering force ที่เกิดจากการดูดกลืนรังสี หรือ กาสะท้อนที่ผิวของอนุภาค โดยแรงนี้จะดันให้อนุภาคเคลื่อนที่ไปตามทิศทางเดินของแสงเลเซอร์หรือ optical axis (รูปที่ 2.1)

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

2.2.2 กรณี ขนาดของอนุภาค d มากกว่าความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 อธิบายต้นกำเนิดของแรง Gradient force ในแนว (a) ตั้งฉากกับแนวเลเซอร์ และ (b) ขนานกับแนวเลเซอร์ โดยใช้ Ray optics และการถ่ายเทโมเมนตัมระหว่างโฟตอนกับอนุภาค

เมื่อพิจารณาโมเมนตัมของแสงเลเซอร์ที่เปลี่ยนไปดังรูปที่ 2.2 หลังจากหักเหผ่านอนุภาคจะเคลื่อนที่เข้าหาจุดศูนย์กลางของแสงเลเซอร์เสมอ ดังนี้ พิจารณาแนวแสงเลเซอร์แนวหนึ่งซึ่งฉายผ่านอนุภาคทรงกลม แขนงลอยอยู่ในน้ำดังรูปที่ 2.2(a) ถ้าอนุภาคนี้มีดัชนีหักเหมากกว่ามากกวาดัชนีหักเหของน้ำ มันจะประพฤติตัวเป็นเลนส์นูนและหักเหแสงให้เบนไปในทิศทางเข้าหาจุดศูนย์กลางของอนุภาค ถ้าพิจารณาแสงให้เป็นอนุภาคโฟตอนซึ่งแต่ละโฟตอนมีโมเมนตัม[6]

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

โดยที่ P คือ โมเมนตัมของแสง

h คือ ค่าคงที่ของพลังค์

λ คือ ความยาวคลื่นของแสง

จะพบว่าโฟตอนที่ผ่านอนุภาคออกมามีทิศทางเปลี่ยนไปแต่มีขนาดของโมเมนตัมเป็น P เท่าเดิม เนื่องจากความยาวคลื่นเท่าเดิม แต่ถ้าพิจารณาเฉพาะโมเมนตัมในแนวแกน y พบว่าเปลี่ยนไปเท่ากับ P_y ซึ่งจะมีผลทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ไปในทิศ $-y$ ด้วยโมเมนตัม $-P_y$ 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
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

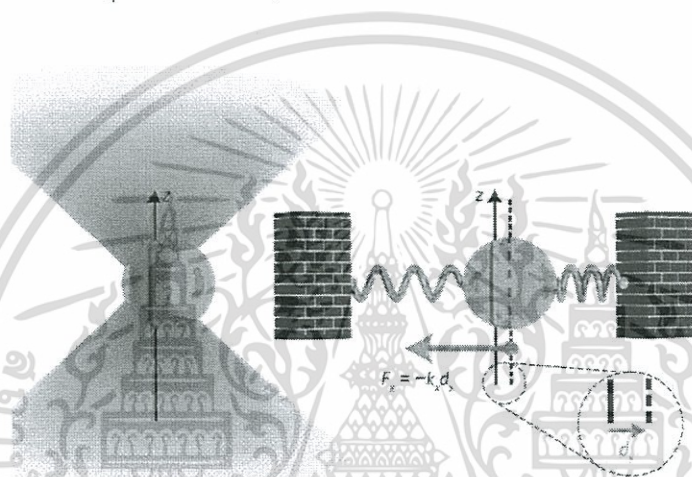
2.3 การใช้คีมจับเชิงแสงในการวัดแรง

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 การวัดแรงทำได้โดยผูกอนุภาคที่จะวัดแรงไว้กับเม็ดแก้วแล้วดึงเม็ดแก้วด้วยคีมจับเชิงแสง เมื่อมีแรงดึงที่อนุภาค เม็ดแก้วจะเคลื่อนไปอยู่จุดที่แรงดึงสมดุลกับแรงของคีมจับ เราสามารถหาแรงได้จากระยะที่เม็ดแก้วเคลื่อนที่ไป ในบางการทดลองมีกลไกย้อนกลับ (feedback) เพื่อเคลื่อนคีมจับเชิงแสงตามอนุภาคไปเพื่อให้ได้ระยะที่แรงกับระยะทางมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นทำให้สามารถวัดแรงได้อย่างต่อเนื่อง

การคำนวณแรงในการดักจับอนุภาค ได้ตั้งสมการ $F_{\text{trap}} = nQPc$

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 $F_{\text{drag}} = 6\pi\eta av$ โดยที่ F_{drag} คือ แรงหนืดที่ของเหลวกระทำกับวัตถุ

η คือ สัมประสิทธิ์ความหนืดของของไหล

a คือ รัศมีของอนุภาค

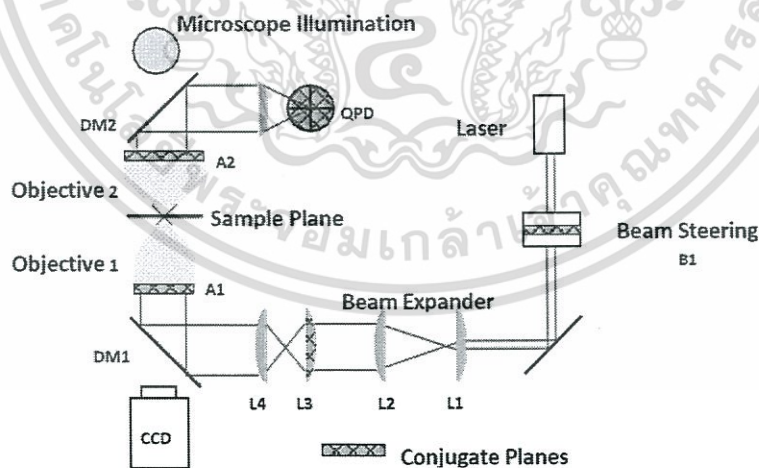
v คือ ความเร็วท้ายของวัตถุ

การหาค่าความหนืดสัมบูรณ์ (Force Calibration) โดยวิธีวัดแรง และระยะทางเช่นเดียวกับสปริงกลั่นนั้นทำได้ยากเพราะมีปัจจัยอื่นๆ มาประกอบด้วยเช่น แรงต้านจากของเหลว และการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน เราสามารถหาค่าความหนืดได้ง่ายกว่าโดยวิธีการ Power Spectrum คือวัดกำลังของการสั่นของอนุภาคในคีมจับแล้วแก้สมการในอาณาจักรความถี่แทน (Fourier Domain)

2.4 คีมจับเชิงแสงแบบออปติคส์ในอากาศ (Free space optical tweezers) หลักการสำคัญของคีมจับเชิงแสงแบบออปติคส์ในอากาศนี้คือ การโฟกัสลำแสงเลเซอร์ลง บนระนาบตัวอย่างโดยเลนส์วัตถุของกล้องจุลทรรศน์ รูปที่ 2.4 แสดงผังอุปกรณ์ทดลองของคีมจับเชิงแสงแบบออปติคส์ในอากาศที่ใช้กันทั่วไป สำหรับรายละเอียดของอุปกรณ์ต่างๆของคีมจับเชิงแสงในแต่ละการทดลองอาจแตกต่างกันขึ้นอยู่กับอนุภาคที่จะจับและการประยุกต์ใช้งาน แต่อุปกรณ์สำคัญๆมี ดังนี้

2.4.1 เลเซอร์สำหรับจับอนุภาค

เลเซอร์ที่ใช้ควมมีโหมด TEM 00 มีกำลังตั้งแต่ 10 มิลลิวัตต์จนถึงหลายวัตต์ ความหนืดของคีมจับจะขึ้นอยู่กับกำลังของเลเซอร์ที่ใช้ โดยทั่วไปแล้วจะได้ความหนืด 0.15 pN/nm ต่อกำลังเลเซอร์ 1 W ที่ระนาบตัวอย่าง ความยาวคลื่นของเลเซอร์ที่ใช้ขึ้นอยู่กับปัจจัยการดูดกลืนแสงของเลนส์ ตัวอย่าง และตัวกลาง



รูปที่ 2.4 อุปกรณ์ทดลองคีมจับเชิงแสงแบบออปติคส์ในอากาศ[8]

2.4.2 เลนส์วัตถุกล้องจุลทรรศน์

เลนส์วัตถุที่ใช้จะต้องมีค่า Numerical Aperture สูงๆ (ประมาณ 1.0-1.4) กล่าวคือมีปากช่องรับแสงกว้าง การใช้ Oil immersion objective หรือ Oil immersion Lens ต้องจุ่มลงในน้ำมัน (Oil) ซึ่งหยดบนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุภาคตัวอย่างจึงจะเห็นเป็นภาพที่ส่องอย่างชัดเจน ดัชนีหักเหของแสง (Refractive index) ของน้ำมันมีค่าเท่ากับแก้วของสไลด์คือ 1.52 ถ้าไม่ใช้น้ำมันกับเลนส์ Oil immersion แสงที่ผ่านสไลด์และวัตถุขึ้นมาแล้วผ่านอากาศออกไปเพราะมีดัชนีหักเหของแสงต่างกันทำให้แสงผ่านไปยังเลนส์น้อยลงแต่เมื่อใช้น้ำมันที่มีดัชนีหักเหของแสงเท่ากับเลนส์แก้วที่สไลด์ แสงจะผ่านน้ำมันขึ้นไปยัง objective Lens ได้เลย ทำให้มีพื้นที่รับปริมาณแสงได้มาก ทำให้มีแรงเกรเดียนท์มาก นอกจากนั้นยังลดผลจากการเบี่ยงเบน (diffraction) ทำให้จุดโฟกัสมีขนาดเล็กลงอีกด้วย

2.4.3 อุปกรณ์บังคับตำแหน่งคีมจับเชิงแสงและการเลื่อนระนาบตัวอย่าง

ในการศึกษาอนุภาคด้วยคีมจับเชิงแสง เมื่อใช้คีมจับเชิงแสงจับอนุภาคได้แล้ว เราจำเป็นต้องเคลื่อนย้ายอนุภาคไปมาในทิศทางต่างๆซึ่งสามารถทำได้โดยเลื่อนฐานเลื่อน piezo stage ซึ่งจะเป็นการเคลื่อนตัวอย่างทั้งระนาบไปโดยการวางระนาบตัวอย่างบนเครื่อง Piezo Stage ซึ่งควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยไมโครมิเตอร์หรือผ่านการใช้แรงดันไฟฟ้าควบคุมด้วยโปรแกรมLabview ในการพัฒนาระบบให้สามารถควบคุมได้ด้วยโปรแกรมนี้จะทำให้สามารถเคลื่อนอนุภาคได้อย่างโดยอัตโนมัติและเป็นไปด้วยความแม่นยำทั้งสามมิติ (x,y,z)

2.4.4 อุปกรณ์บันทึกภาพและตำแหน่งของอนุภาคโดยบันทึกภาพระนาบตัวอย่างโดยตรง

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

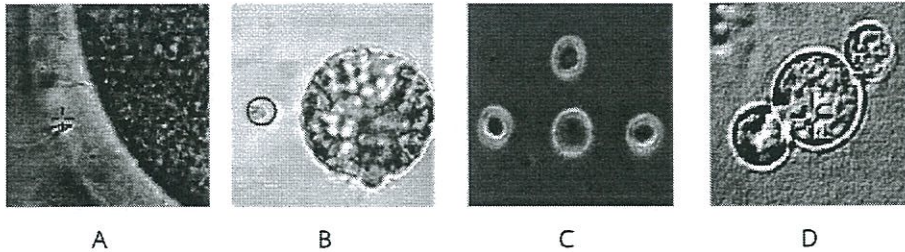
2.5 การประยุกต์ใช้งานคีมจับเชิงแสง

คีมจับเชิงแสงถูกนำไปประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสาขาต่างๆมากมายทั้งใน สาขาชีววิทยา เคมี การแพทย์และอื่นๆ จึงมีความจำเป็นในการศึกษาหากเราสามารถออกแบบระบบการควบคุมอนุภาคโดยใช้ XY Translation Stage และโปรแกรม LabVIEW ให้สามารถควบคุมการเคลื่อนที่อย่างละเอียดในระดับไมโครเมตร ตัวอย่างการนำคีมจับเชิงแสงไปประยุกต์ใช้มี ดังนี้

2.5.1 การศึกษาด้านชีววิทยาในระดับเซลล์

ความสามารถของคีมจับเชิงแสงในการจับเซลล์และเคลื่อนย้ายเซลล์ และออกแรงกระทำต่อเซลล์ เช่น บิด ยืด ทำให้มีการนำคีมจับเชิงแสงไปใช้ในทางชีววิทยาอย่างมาก นอกจากนั้นเรายังสามารถดักจับและออกแรงกระทำต่อส่วนประกอบอื่นๆ ภายในเซลล์เช่น นิวเคลียส คลอโรพลาสต์ อีกด้วย ห้องปฏิบัติการทางชีววิทยาส่วนใหญ่จะมีคีมจับเชิงแสงแบบประสบความสำเร็จรูปหรือไม่ก็เป็นแบบประกอบขึ้นเอง 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 พาเชื้อแบคทีเรียที่ละลายตัวไปยังปลายท่อไมโครแคปิลารีโดยตรงโดยใช้คนบังคับคีมจับเชิงแสงโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 การประยุกต์ใช้คีมจับเชิงแสงในเซลล์สิ่งมีชีวิต (A) การนำสเปิร์มเข้าสู่ไข่ (B) การนำโครโมโซมออกจากเซลล์พืช (C) การศึกษาปฏิกิริยาทางไฟฟ้าระหว่างเซลล์ประสาท (D) การนำเซลล์ฆ่ามะเร็งไปสัมผัสกับเซลล์มะเร็ง (A,B,C,D เรียงจากซ้ายไปขวา) [8]

การช่วยปฏิสนธิมนุษย์ มีการทดลองใช้คีมจับเชิงแสงเป็นตัวนำสเปิร์มไปสัมผัสกับไข่เพื่อช่วยในการปฏิสนธิ อีกการทดลองหนึ่งใช้กรรไกรเชิงแสงตัดผนังรังไข่เสียก่อน จากนั้นจึงใช้คีมจับเชิงแสงนำตัวสเปิร์มเข้าสู่ไข่ผ่านทางผนังที่ตัดตั้งในรูปที่ 2.5(A) การศึกษาส่วนประกอบต่างๆของเซลล์ เช่น การใช้กรรไกรเชิงแสงตัดผนังเซลล์พืชแล้วใช้คีมจับเชิงแสงนำโครโมโซมออกมาจากเซลล์ตั้งในรูปที่ 2.5(B) การศึกษาเซลล์ประสาท (nerve cells) มีการนำเซลล์ประสาทมาวางเรียงกันเป็นรูปต่างๆ ตั้งในรูป แล้วศึกษาสัญญาณทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นและสร้างวงจรไฟฟ้าจากเซลล์ประสาท อีกด้วยตั้งในรูปที่ 2.5(C) การศึกษาเกี่ยวกับมะเร็ง มีการนำเซลล์มะเร็งไปติดกับเซลล์ที่ฆ่ามะเร็ง (killer cell) เพื่อทำลายเซลล์มะเร็งตั้งในรูป 2.5(D)

2.6 การประยุกต์ใช้ LabVIEW กับ Optical Tweezers ในเชิงควบคุมการตรวจจับอนุภาค

การนำระบบคอมพิวเตอร์ใช้ในระบบ ควบคุม โปรแกรมในปัจจุบันที่นิยมคือโปรแกรม LabVIEW คือง่ายต่อการเขียนโปรแกรม และ สะดวกต่อการแสดงผลด้านกราฟฟิกส์ ในที่นี้นำมาประยุกต์ใช้กับชุดการทดลองคีมจับเชิงแสงเพื่อควบคุมตำแหน่งกับดักของอนุภาค การควบคุมเลื่อนตำแหน่ง XY Translation Stage

2.6.1 การใช้ LabVIEW เบื้องต้น

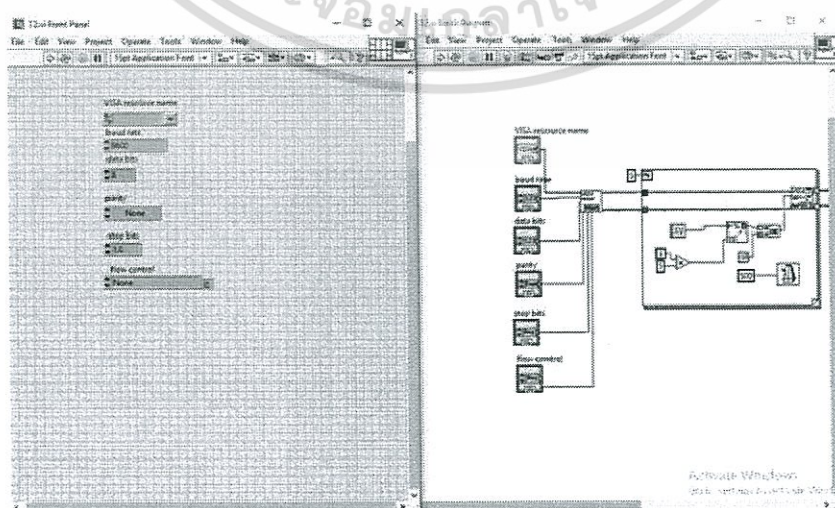
โปรแกรม LabVIEW เป็นโปรแกรมที่สร้างเพื่อนำมาใช้ในด้านการวัดและเครื่องมือวัดสำหรับงานทางวิศวกรรม LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench ซึ่งหมายความว่า เป็นโปรแกรมที่สร้าง เครื่องมือวัดเสมือนจริงในห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรม ดังนั้นจุดประสงค์หลักของการทำงานของโปรแกรมนี้คือการจัดการในด้านการวัดและเครื่องมือวัด อย่างมีประสิทธิภาพ และในตัวของโปรแกรมจะประกอบไปด้วยฟังก์ชันที่ใช้ช่วยในการวัดมากมายและแน่นอนที่สุด โปรแกรมนี้จะมีประโยชน์อย่างสูงเมื่อใช้ร่วมกับเครื่องมือวัดทางวิศวกรรมต่างๆ สิ่งที่ LabVIEW แตกต่างจากโปรแกรมอื่นอย่างเห็นได้ชัดที่สุดก็คือ LabVIEW นี้เป็นโปรแกรมประเภท GUI (Graphic User Interface) โดยสมบูรณ์ นั่นคือไม่จำเป็นต้องเขียน code หรือคำสั่งใดๆ ทั้งสิ้น และที่สำคัญลักษณะภาษาที่ใช้ในโปรแกรมนี้เราจะเรียกว่าเป็น ภาษารูปภาพ หรือเรียกอีกอย่างว่าภาษา G (Graphical Language) ซึ่งจะแทนการเขียนโปรแกรมเป็นบรรทัดอย่างที่เราคุ้นเคยกับภาษาพื้นฐาน เช่น C, BASIC หรือ FORTRAN ด้วยรูปภาพหรือสัญลักษณ์ทั้งหมด ซึ่งแม้ว่าในเบื้องต้นอาจจะสับสนอยู่บ้าง แต่เมื่อคุ้นเคยกับการใช้โปรแกรมนี้แล้วเราจะพบว่า LabVIEW นี้มีความสะดวกและสามารถลดเวลาในการเขียนโปรแกรมลงไปได้มาก โดยเฉพาะในงานเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อใช้ในการวัดและการควบคุม โดยจุดประสงค์หลักแล้ว บริษัทเอกซาร์นี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

National Instrument ได้เริ่มพัฒนาโปรแกรมที่จะนำมาใช้กับระบบเครื่องมือวัดที่มีความง่ายในการเขียนโปรแกรมและมีฟังก์ชันเพื่อจะช่วยให้การวัดทางวิศวกรรมให้มากที่สุดเพราะด้วยความเป็นมาบริษัท National Instrument เริ่มจากการผลิตอุปกรณ์ที่ใช้กับการวัดทางวิศวกรรม ไม่ใช่บริษัทที่เริ่มต้นมาจากการผลิต Software เป็นหลัก ดังนั้นคงไม่ผิดนักสำหรับผู้ที่ต้องการจะใช้ประโยชน์สูงสุดจากโปรแกรม LabVIEW คือผู้ที่ต้องการจะนำข้อมูลจากภายนอกเครื่องคอมพิวเตอร์ เข้ามาในเครื่องเพื่อทำการการวิเคราะห์ข้อมูล 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 ให้เป็นไปตามต้องการเป็นเรื่องที่ไม่ยุ่งยากนัก

2.6.2 การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานโดย LabVIEW

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

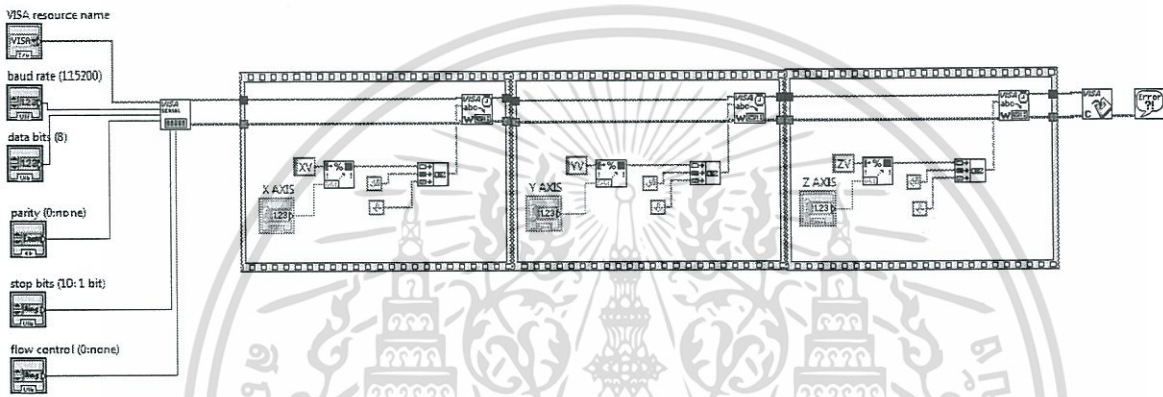
Front Panel หรือหน้าปัทม์ จะเป็นส่วนที่ใช้สื่อความกันระหว่างผู้ใช้กับโปรแกรม (หรือที่นิยมเรียก User Interface) โดยทั่วไปจะมีลักษณะเหมือนกับหน้าปัทม์ของของเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้งานด้านการวัดต่างๆ ไป โดยทั่วไปจะประกอบด้วย สวิตช์ปิดเปิด, ปุ่มปิด, ปุ่มกด จอแสดงผลหรือแม้แต่ว่าผู้ใช้สามารถกำหนดสำหรับผู้ที่คุ้นเคยกับการเขียนโปรแกรมประเภท Visual ทั้งหลายคงจะเข้าใจกันดีว่า Front Panel นี้จะเปรียบเสมือนเป็น GUI ของโปรแกรมหรือ VI นั้นเอง



รูปที่ 2.6 Front Panel และ Block Diagram ของ LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้เกิดความเข้าใจง่ายขึ้น เราอาจมอง Block Diagram นี้เป็นเสมือนกับ Source Code หรือ โปรแกรมของ LabVIEW ซึ่งปรากฏว่าอยู่ในรูปของภาษา G ซึ่ง Block Diagram นี้ ถือว่าเป็น Executable Program คือสามารถที่จะทำงานได้ทันที และข้อดีอีกประการหนึ่งก็คือ LabVIEW จะมีการตรวจสอบความผิดพลาดของโปรแกรมตลอดเวลา ทำให้โปรแกรมจะทำงานได้ก็ต่อเมื่อไม่มีข้อผิดพลาดในโปรแกรมเท่านั้นโดย ผู้ใช้สามารถที่จะดูรายละเอียดของความผิดพลาดแสดงให้เห็นได้ตลอดเวลาทำให้การเขียนโปรแกรมนั้นง่ายขึ้น ากส่วนประกอบภายใน Block Diagram นี้จะประกอบด้วย ฟังก์ชัน ค่าคงที่ โปรแกรมควบคุมการทำงาน หรือโครงสร้าง จากนั้นในแต่ละส่วนเหล่านี้ ซึ่งจะปรากฏในรูปของ Block เราจะได้รับการต่อสาย (Wire) สำหรับ Block ที่เหมาะสมเข้าด้วยกัน เพื่อกำหนดลักษณะการไหลของข้อมูลระหว่าง Block เหล่านั้น ทำให้ ข้อมูลได้รับการประมวลผลตามที่ต้องการและแสดงผลออกมาให้แก่ผู้ใช้ต่อไป



รูปที่ 2.7 แสดง Block Diagram ของโปรแกรมเพื่อควบคุม Piezo Stage ในตำแหน่ง xyz โดยการปรับค่า แรงดันไฟฟ้า

2.7 Piezo Electric คืออะไร

2.7.1 ไพโซอิเล็กทริกเซรามิก

ปัจจุบันอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์หลายชนิดที่ผลิตขึ้นมาโดยใช้วัสดุประเภทไพโซอิเล็กทริกเซรามิก เพราะการผลิตทำได้ง่าย ประสิทธิภาพสูง สามารถลดขนาด และน้ำหนัก ของอุปกรณ์ลงได้มาก ตัวอย่าง อุปกรณ์ที่ผลิตจากสารไพโซอิเล็กทริกเซรามิกได้แก่ รีซีฟเวอร์(receivers) แอคชูเอเตอร์ (actuators) อัลตราโซนิคมอเตอร์ (ultrasonic motor) หม้อแปลงไพโซอิเล็กทริก (piezoelectric transformers) เป็นต้น

2.7.2 หลักการทำงานของสารไพโซอิเล็กทริกเซรามิก

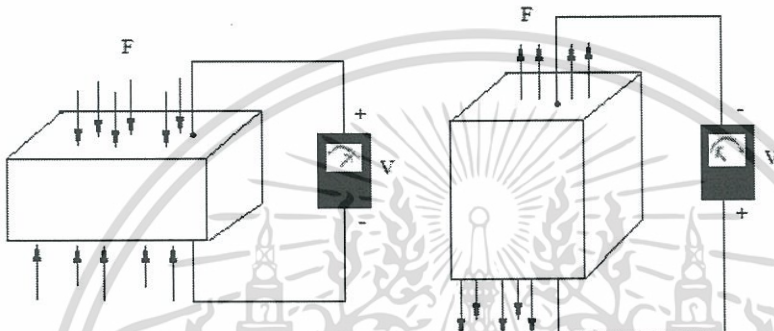
ไพโซอิเล็กทริกเซรามิก คือสารเซรามิกที่มีคุณสมบัติสำคัญอยู่สองอย่างซึ่งจะประกอบด้วย คุณสมบัติอย่างแรกสามารถเปลี่ยนรูปพลังงานจากพลังงานทางกลเป็นพลังงานทางไฟฟ้า เมื่อมีการเปลี่ยนรูปร่างของวัตถุที่เป็นสารไพโซอิเล็กทริกเซรามิก ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมวัตถุนั้นและคุณสมบัติอย่างที่สองคือสามารถเปลี่ยนรูปจากพลังงานทางไฟฟ้าเป็นพลังงานทางกล โดยเมื่อมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมวัตถุที่เป็นสารไพโซอิเล็กทริกเซรามิก แล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปร่างวัตถุ ดังนั้นคุณสมบัติในการทำงานของสารไพโซอิเล็กทริกเซรามิกจะประกอบด้วยคุณสมบัติทางกลและคุณสมบัติทางไฟฟ้า โดยคุณสมบัติทางกลของไพโซอิเล็กทริกเซรามิกประกอบด้วยความเค้น (Stress : T) ความเครียด (Strain : S) และคุณสมบัติทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของสารไพโซอิเล็กทริกเซรามิกประกอบด้วย สนามไฟฟ้า (Electric : E) โพลาริเซชัน (Polarization : P) การทำงานสองลักษณะดังกล่าวสามารถอธิบายโดยละเอียดได้ดังนี้คือ

2.7.2.1 หลักการทำงานของไพโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ (Piezoelectric Transducers)

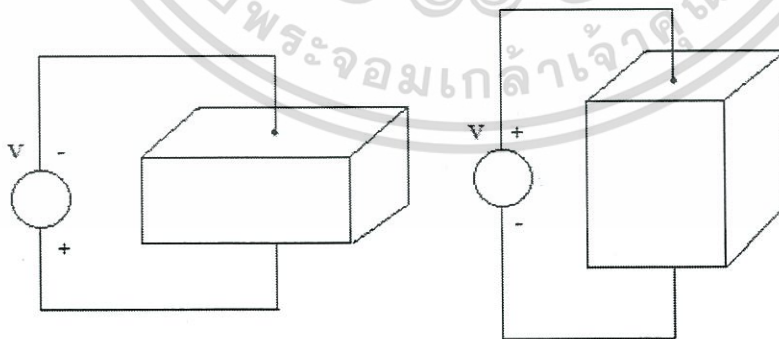
เมื่อมีแรงกระทำกับวัตถุที่เป็นไพโซอิเล็กทริกเซรามิกในลักษณะของแรงดึงหรือแรงกดแล้วมีผลทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของวัตถุนั้น ซึ่งทิศทางของแรงดันไฟฟ้าแปรตามลักษณะการกดหรือการดึง ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ตัวอย่างการทำงานลักษณะนี้ได้แก่อุปกรณ์วัดค่าปริมาณต่างๆ เช่น วัดความดันอากาศ วัดความเครียดภายในชิ้นส่วนของวัสดุ เป็นต้น



รูปที่ 2.8 การทำงานของไพโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์[11]

2.7.2.2 หลักการทำงานของไพโซอิเล็กทริกแอคชูเอเตอร์ (Piezoelectric Actuators)

เป็นวัตถุที่เป็นสารไพโซอิเล็กทริกเซรามิกที่มีลักษณะการยืดหรือหดได้เมื่อมีการป้อนแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของวัตถุนั้น ถ้ามีการป้อนแรงดันไฟฟ้าที่มีความถี่แบบสลับขั้วต่อเนื่องก็จะทำให้วัตถุนั้นเกิดการสั่นได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ตัวอย่างการทำงานลักษณะนี้ได้แก่หัวพิมพ์ของเครื่องพิมพ์ ชนิดพ่นหมึก (inkjet printer) เป็นต้น



รูปที่ 2.9 การทำงานของไพโซอิเล็กทริกแอคชูเอเตอร์[11]

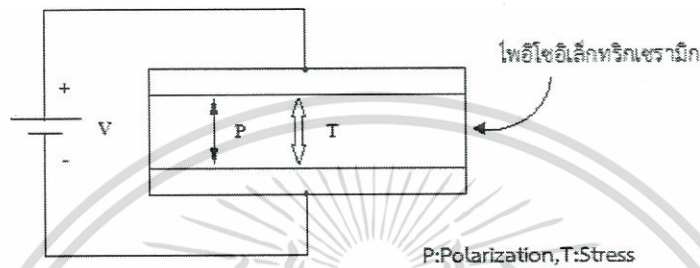
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 ลักษณะการทำงานของไพโซอิเล็กทริกเซรามิก

ไพโซอิเล็กทริกเซรามิกมีลักษณะการทำงานอยู่สองลักษณะการทำงานด้วยกันคือการทำงานในลักษณะของ Longitudinal mode และ Transverse mode

2.7.3.1 การทำงานในลักษณะของ longitudinal mode

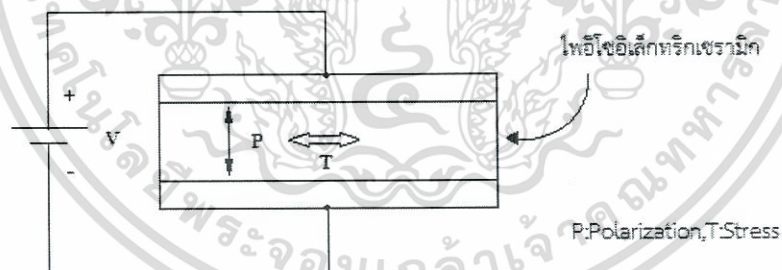
เมื่อมีแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของวัตถุที่เป็นไพโซอิเล็กทริกเซรามิก แล้วทำให้วัตถุนั้นเกิดการยืดหรือหดในแนวทิศทางเดียวกับแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของวัตถุนั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ลักษณะการทำงานของ Longitudinal mode ของไพโซอิเล็กทริกเซรามิก[11]

2.7.3.2 การทำงานในลักษณะของ Transverse mode

เมื่อมีแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของวัตถุที่เป็นไพโซอิเล็กทริกเซรามิก แล้วทำให้วัตถุนั้นเกิดการยืดหรือหดในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางของแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของวัตถุนั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.11

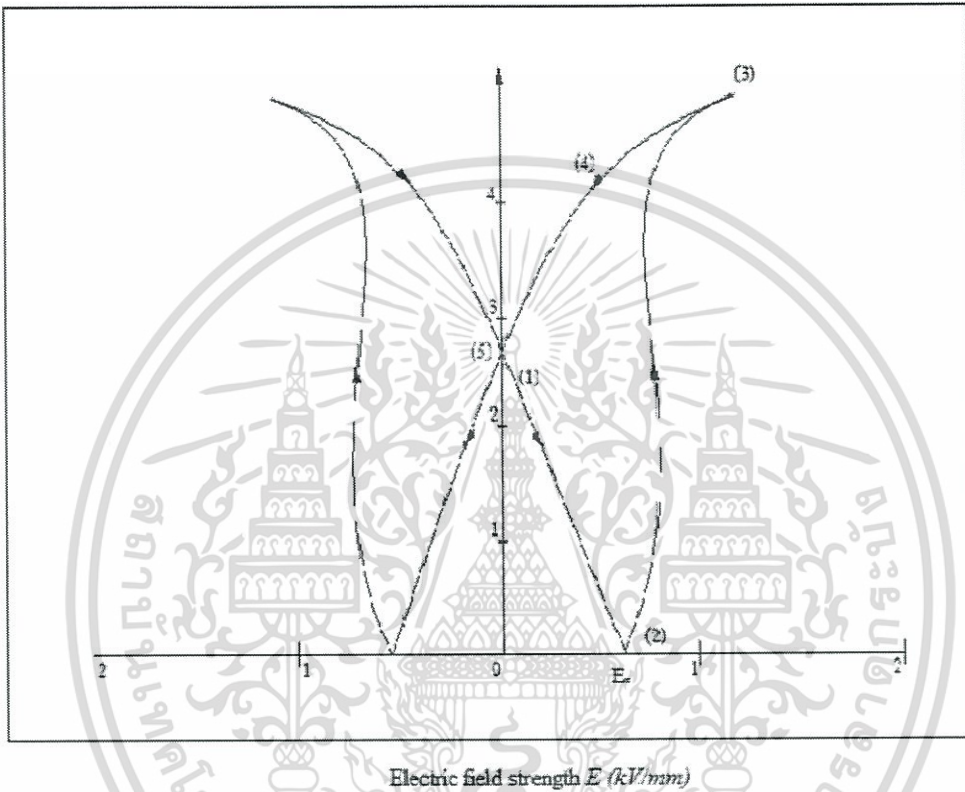


รูปที่ 2.11 ลักษณะการทำงานของ Transverse mode ของไพโซอิเล็กทริกเซรามิก[11]

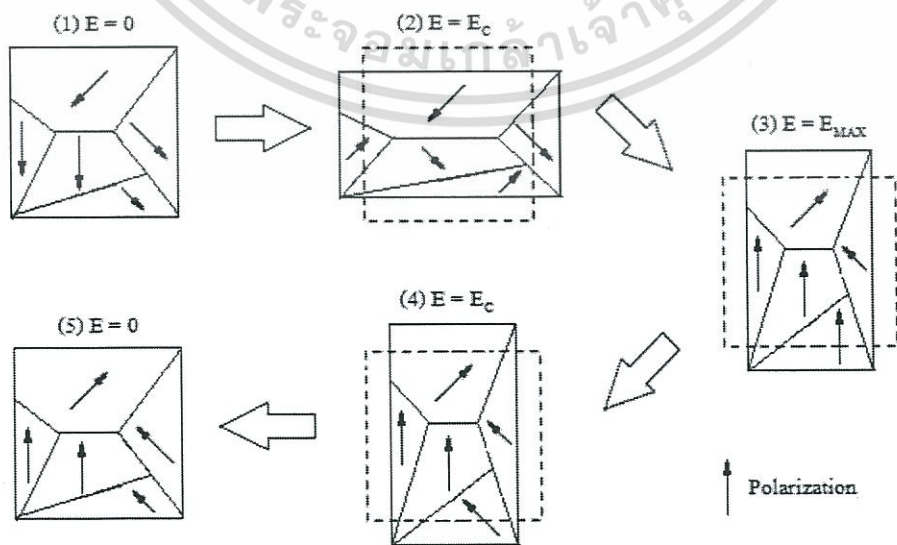
2.7.4 คุณสมบัติทางไฟฟ้าและทางกลของไพโซอิเล็กทริกเซรามิก

ไพโซอิเล็กทริกเซรามิกก่อนจะนำมาใช้งาน ต้องถูกนำไปให้ได้รับแรงดันไฟฟ้าตรงแรงดันสูง (Poling) เพื่อให้โดเมนภายในของไพโซอิเล็กทริกเซรามิกเกิดการเรียงตัว (Polarization) ในทิศทางของสนามไฟฟ้า (E) และทำให้ไพโซอิเล็กทริกเซรามิกเกิดการยึดตัวตามทิศทางของสนามไฟฟ้า เมื่อเสร็จสิ้นการ Poling ($E = 0$) ไพโซอิเล็กทริกเซรามิกเกิดการหดตัวแต่จะไม่กลับมาที่ตำแหน่งเดิมก่อนการ poling ดังแสดงที่ตำแหน่ง (1) ในรูปที่ 2.23 และรูปที่ 2.24 (1) เมื่อนำไพโซอิเล็กทริกเซรามิกมาใช้งาน เช่น ให้สนามไฟฟ้าในทิศทางตรงข้ามกับการ Poling โดเมนภายในก็จะหดตัวลงเมื่อสนามไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดเมนก็จะหดตัวลงจนกระทั่งเมื่อ $E = E_c$ ดังแสดงที่ตำแหน่ง (2) ในรูปที่ 2.23 และรูปที่ 2.24 (2) ไพโซอิเล็กทริกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซรามิกก็ไม่สามารถหดตัวได้อีก แต่เมื่อสนามไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอีกโดเมนภายในก็จะกลับทิศทางทำให้โพซิโวลีทริกเซรามิกยึดตัวเพราะโดเมนภายในมีทิศทางตามทิศทางของสนามไฟฟ้าเมื่อ $E = E_{max}$ ดังแสดงที่ตำแหน่ง (3) ในรูปที่ 2.13 โพซิโวลีทริกไม่สามารถยึดตัวได้มากกว่านี้แล้วเมื่อสนามไฟฟ้าลดลงโพซิโวลีทริกเซรามิกก็จะหดตัวลงตามลำดับดังแสดงที่ตำแหน่ง (4) ในรูปที่ 2.12 และรูปที่ 2.13 (4) ดังนั้นที่ตำแหน่งสุดท้าย ดังแสดงที่ตำแหน่ง(5) ในรูปที่ 2.12 และรูปที่ 2.13 (5) $E = 0$ ทิศทางของโดเมนจะกลับทิศทางของโดเมนเดิมเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะตำแหน่งเริ่มต้น



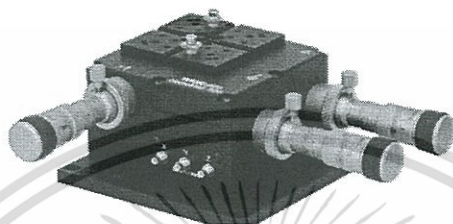
รูปที่ 2.12 คุณลักษณะทางไฟฟ้าและทางกลของโพซิโวลีทริกเซรามิก[11]



เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานทดแทนของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อผู้ยืมหนังสือเป็นประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 NanoMax TS 3 Axis Flexure Stage

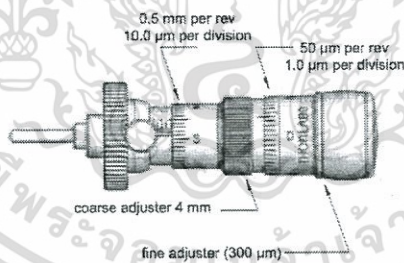
NanoMax TS 3-Axis Flexure Stage เป็นโมเดลที่ถูกออกแบบเพื่อรวบรวมระบบอิเล็กทรอนิกส์และแกน 3 มิติในระดับนาโนเมตร อุปกรณ์นี้เหมาะสำหรับการจัดตำแหน่งเส้นใยแก้วนำแสง ท่อนำคลื่น อุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ หรือว่าอุปกรณ์ต่างๆ ที่ต้องการการจัดตำแหน่งที่มีความละเอียดสูง หรือการประยุกต์ใช้ที่ต้องการการจัดตำแหน่งรวมทั้งภายในห้องปฏิบัติการ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



รูปที่ 2.14 แสดงถึง NanoMax TS 3 Axis Flexure Stage

2.8.1 Manual Differential Drives and Differential Micrometer Drives

การปรับของไมโครมิเตอร์ ปรับหมุนสเกลหยาบของไมโครมิเตอร์ตามเข็มนาฬิกาจนแพลตฟอร์มของอุปกรณ์เริ่มเคลื่อนไหว แล้วเริ่มการปรับหมุนสเกลละเอียดของไมโครมิเตอร์จนอุปกรณ์เริ่มเคลื่อนไหว แสดงว่าไมโครมิเตอร์พร้อมใช้งาน อย่างไรก็ตามเราในการขับเคลื่อน เราสามารถให้ค่าแรงดันไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 0 - 75 V ที่ช่อง voltage Input ทั้งสามแกน



รูปที่ 2.15 แสดงถึง Reading micrometer drives[12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

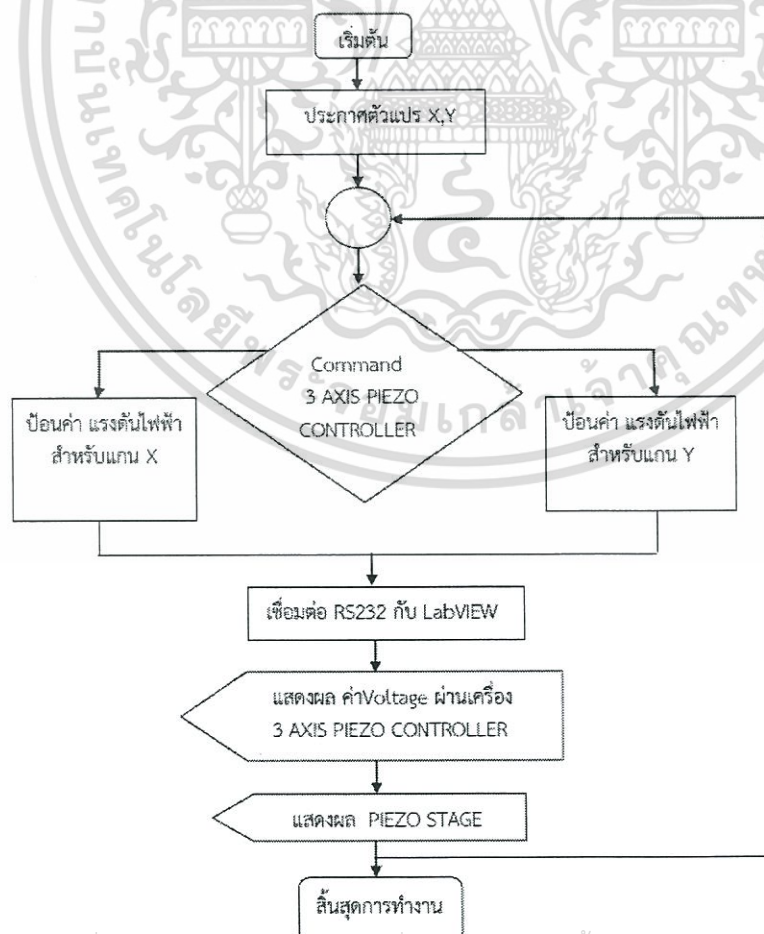
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยของโครงการพิเศษนี้เป็นการออกแบบระบบคีมจับเชิงแสงโดยการเน้นในเรื่องของการเลื่อนตำแหน่งของสารตัวอย่างตามแนวแกน XYZ โดยการควบคุม Voltage โดยใช้ Piezo Stage ในการควบคุมตำแหน่ง โดยการดำเนินงานจะแบ่งออกเป็น

- 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

ส่วนของงานวิจัยนี้จะใช้ โปรแกรม LabVIEW ติดต่อกับเครื่องควบคุม 3 AXIS IEZO CONTROLLER ผ่านทางพอร์ต RS

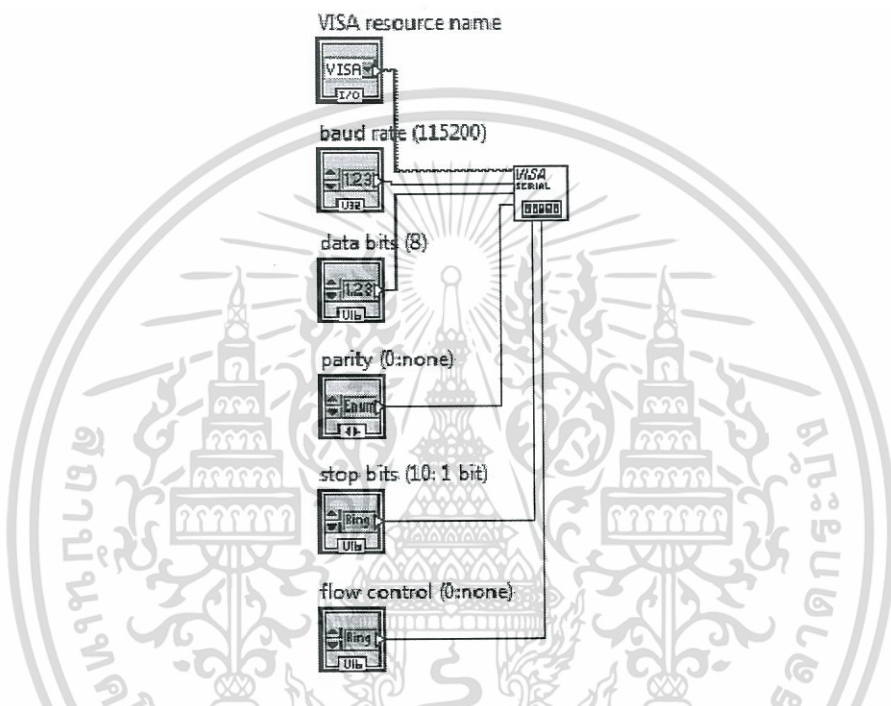


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรม LabVIEW

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

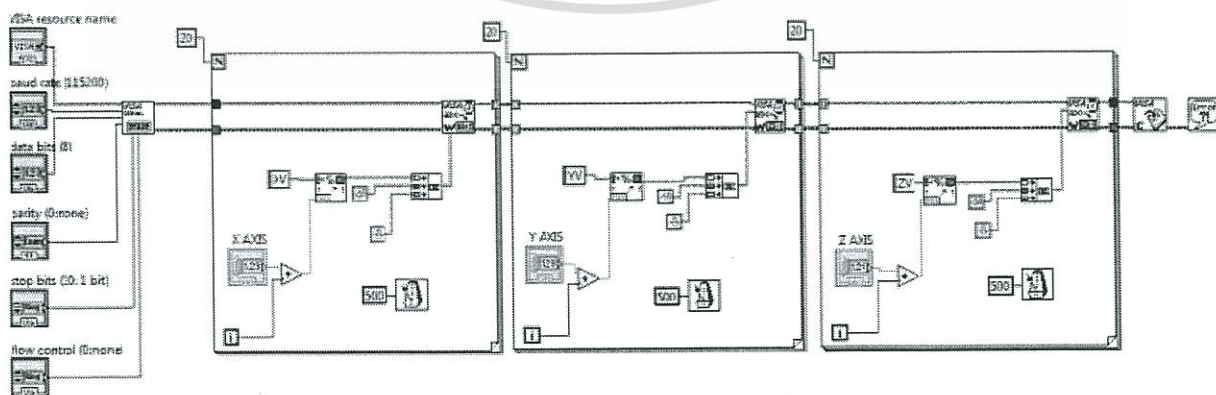
ส่วนที่ 1 Visa Configure Port เป็นตัวกำหนดการเชื่อมต่อกับ Com Port โดยในที่นี้ เลือกใช้เป็น COM3 (เป็นค่าเฉพาะแต่ละเครื่อง) และยังเป็นตัวกำหนดBaud Rate : 115200 , Data Bits : 8 , Parity : none , Stop Bits : 1 และ Flow Control : none โดยเป็นค่า สเปคของแต่ละเครื่อง ในที่นี้เป็นค่าของเครื่อง 3 AXIS PIEZO CONTROLLER



รูปที่ 3.2 แสดงในส่วนการเขียน Visa Configure Port

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

ส่วนที่ 3 Visa Close เป็นคำสั่งปิดการทำงาน เมื่อมีการทำงานครบทุกคำสั่ง

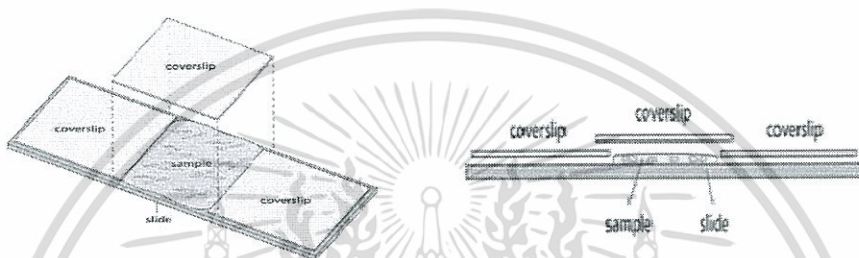


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 แสดง Block Diagram ของโปรแกรมควบคุมตำแหน่ง Piezo Stage ผ่าน 3 AXIS PIEZO CONTROLLER

3.2 การเตรียมอนุภาคตัวอย่าง (Polystyrene ball) และการออกแบบ Slide

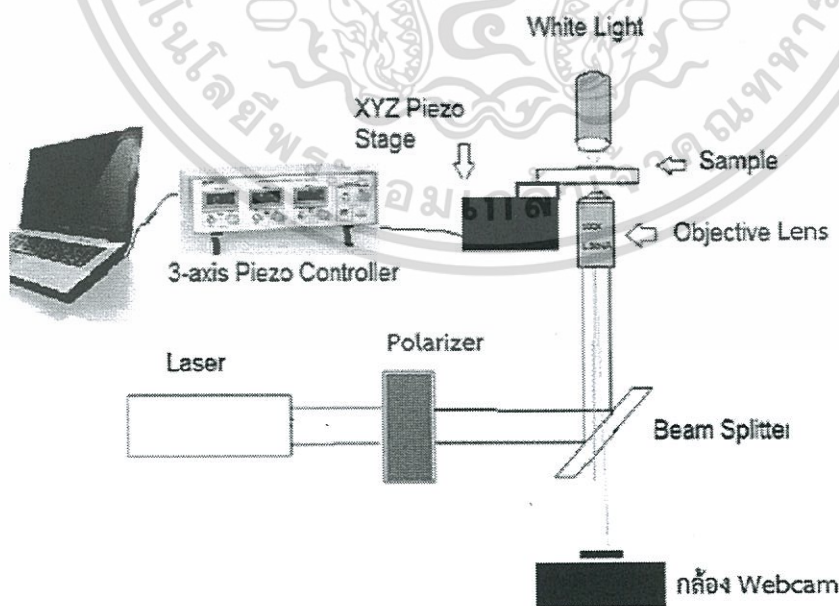
การเตรียมอนุภาคตัวอย่างคือ นำสไลด์ที่สะอาด 1 แผ่นพร้อมกระจกปิดสไลด์ (cover slide) วางอนุภาคตัวอย่างบนแผ่นสไลด์ จากนั้นหยดน้ำบนสไลด์และปิดด้วยกระจกปิดสไลด์ สไลด์ที่ดีต้องไม่มีฟองอากาศอยู่ระหว่างสไลด์และกระจก ตำแหน่งของอนุภาคตัวอย่างที่ศึกษาต้องอยู่กลางสไลด์และไม่หนาจนเกินไปเพื่อให้แหล่งกำเนิดแสงส่องผ่านได้ โดยอนุภาคตัวอย่างที่ศึกษาในการทดลองนี้ใช้เม็ดพลาสติกโปร่งแสงซึ่งเป็นอนุภาคทรงกลมทำด้วยวัสดุพอลิสไตรีน (Polystyrene) ที่มีขนาดเท่ากับ $2 \mu\text{m}$



รูปที่ 3.4 ภาพถ่ายแสดงอนุภาคตัวอย่างที่ปิดด้วย coverslip

3.3 ออกแบบและวางแผนการสร้างอุปกรณ์คีมจับเชิงแสง

การออกแบบการสร้างอุปกรณ์คีมจับเชิงแสง จะแสดงการสร้างและการออกแบบการจัดอุปกรณ์ในส่วนหลักๆของระบบการทำงานของ Optical tweezers โดยจะคำนึงถึงขนาดของแสงเลเซอร์และขนาดของอนุภาค



รูปที่ 3.5 ภาพแสดงการวางอุปกรณ์ฐานเลื่อนกับชุดคีมจับเชิงแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 1 แหล่งกำเนิดของแสงเลเซอร์

การสร้างระบบคีมจับเชิงแสงนี้ใช้เลเซอร์ชนิด Helium Neon เป็นเลเซอร์ที่มีกำลังแสง 20 มิลลิวัตต์ ที่ความยาวคลื่น 632.8 nm เป็นแสงเลเซอร์ที่อยู่ในย่านตามองเห็น ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการเซทระบบ

ส่วนที่ 2 Beam Splitter

เป็นส่วนที่จะทำการแยกอินฟราเรดที่ผ่านเข้ามาให้เป็นสองส่วนคือ สามารถให้แสงทะลุผ่านได้ 50 % และจะสะท้อน 50 %

ส่วนที่ 3 3 AXIS PIEZO CONTROLLER

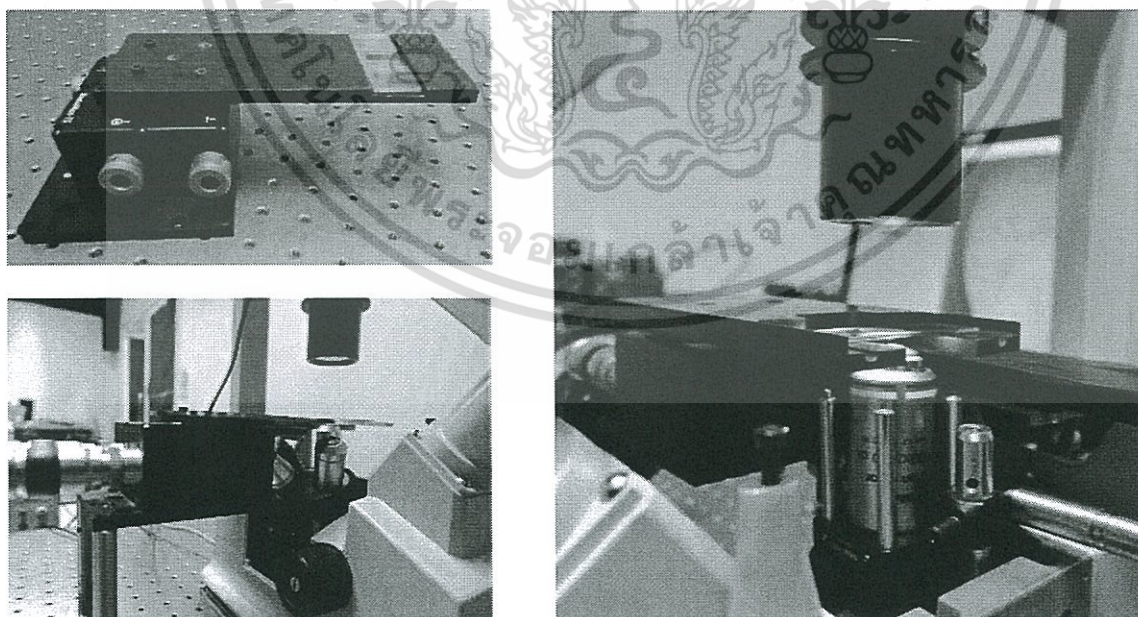
อุปกรณ์ที่ใช้ควบคุม piezo stage ในตำแหน่ง xyz โดยการปรับค่าแรงดันไฟฟ้า ใช้ LabView ในการควบคุมแรงดันไฟฟ้า เชื่อมต่อกับ Serial port RS-232

ส่วนที่ 4 Piezo Stage XYZ

อุปกรณ์ที่ควบคุมตำแหน่งระยะ XYZ สามารถ ขับเคลื่อนด้วยแรงดันไฟฟ้า เคลื่อนได้ในระยะระดับไมครอน ดังนั้นจึงใช้ Piezo Stage ในการเลื่อนตำแหน่งบน Slide ของสารตัวอย่าง

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 3.6 แสดงภาพการติดตั้ง Piezo stage เข้ากับตัวกล้องจุลทรรศน์แบบส่องขึ้น (Inverted Microscope) และภาพแสดงการวาง slide บน Piezo Stage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ขั้นตอนการติดตั้งระบบคิมจับเชิงแสง

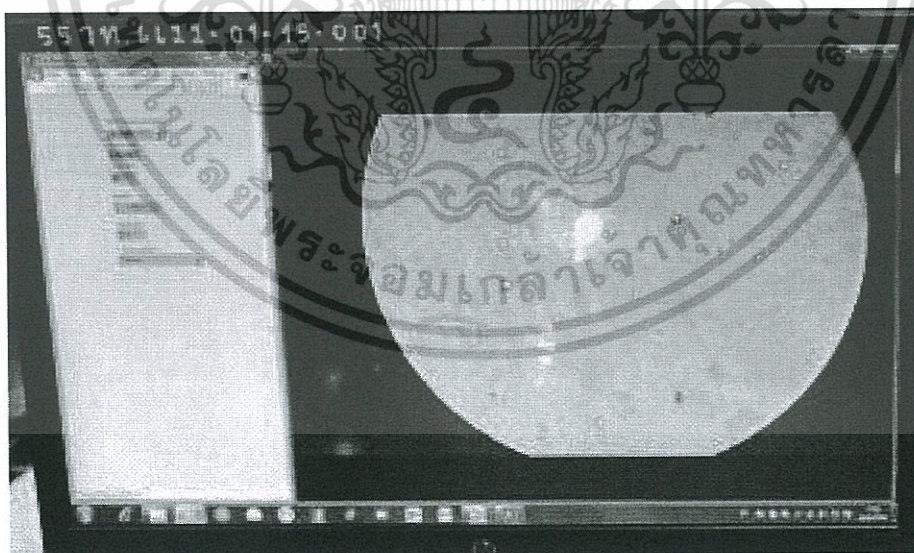
ขั้นตอนที่1 ทำการเตรียมระบบแสงเลเซอร์โดยให้ลำแสงเลเซอร์อยู่ตรงจุดกึ่งกลาง

ขั้นตอนที่2 ติดตั้งระบบ Beam Expander System และทำการวัดระยะความสูงของลำแสงและขนาดของลำแสง จัดลำแสงที่ได้จากระบบ Beam Expander เข้าไปยังกระจก Beam Splitter พร้อมทั้งจัดให้แสงที่ได้เข้าไปโฟกัสที่เลนส์ใกล้วัตถุ

ขั้นตอนที่3 ติดตั้ง Piezo Stage กับเครื่อง 3 AXIS PIEZO CONTROLLER และคุมการเลื่อนตำแหน่งโดยใช้โปรแกรม LabVIEW ที่เขียนขึ้นมา

ขั้นตอนที่4 จัดอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการเฝ้าดูการทำงานโดยการติดตั้งกล้องเว็บแคมติดต่อกับ Inverted Microscope และต่อกล้องเว็บแคมเข้ากับคอมพิวเตอร์และทำการลงโปรแกรมการทำงานของกล้องเพื่อใช้ในการเฝ้าดูและบันทึกการทำงานของระบบที่สร้างขึ้น

จากรูปที่ 3.6 จะเห็นลักษณะกล้องจุลทรรศน์ที่ประยุกต์แล้ว เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการวาง objective lens 100X ระยะระหว่าง Lens กับ Piezo Stage ต้องได้ระยะความสูงที่เท่ากัน และสารที่ต้องการดูหรือจับ นั้น จะต้องอยู่บนแผ่นสไลด์หนาไม่เกิน 1 มิลลิเมตรเท่านั้นเนื่องจาก objective lens 100X นั้นจะต้องจุ่มน้ำมันก่อนและจะต้องอยู่ใกล้กับสารตัวอย่างเนื่องจากการทำงานของอุปกรณ์ชิ้นหลายๆ objective lens ที่มีกำลังขยาย 100X มีกำลังสูงพอและสามารถเห็นอนุภาคที่ชัดเจนสามารถระบุตำแหน่ง และ ลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคว่าไปในทิศทางใด และลักษณะจุดโฟกัสที่เกิดขึ้น แล้วยังรวมไปถึงการสังเกตระยะ การเลื่อนของ Piezo Stage ในระดับไมครอนโดยเราจะมีการจัดอุปกรณ์การมองภาพ คือ กล้อง Webcam เป็นตัวบันทึกภาพ บันทึกวิดีโอ เพราะสะดวกต่อการสังเกตการณ์เคลื่อนของ Piezo Stage ได้ชัดมากขึ้นดังรูปที่ 3.7



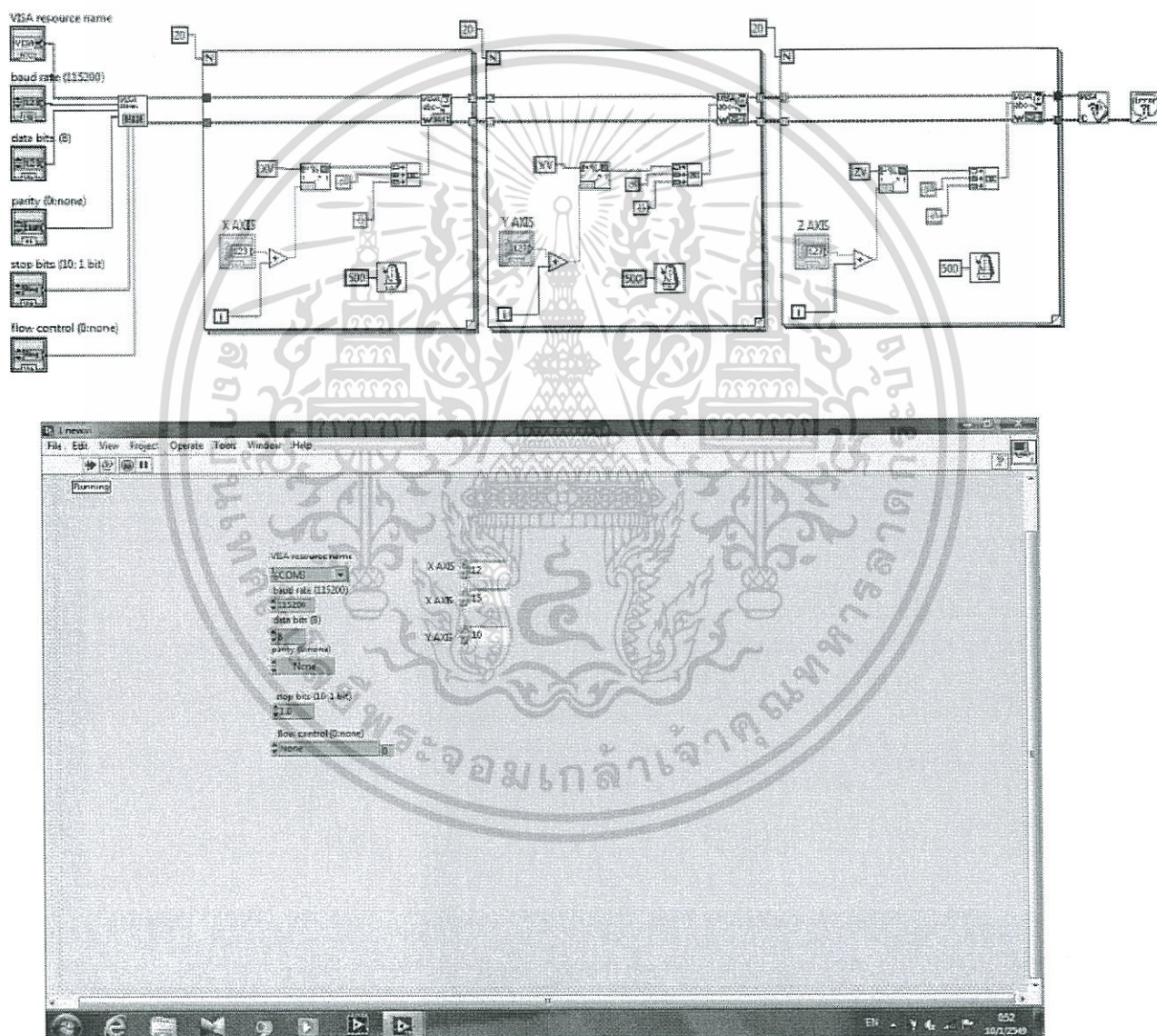
รูปที่ 3.7 แสดงภาพอนุภาคตัวอย่าง (Polystyrene balls) ที่มองผ่านอุปกรณ์การมองภาพ (webcam)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลการทดสอบการเขียนโปรแกรม LabVIEW เพื่อควบคุม 3 AXIS PIEZO CONTROLLER

การทดลองการเขียนโปรแกรม LabVIEW เพื่อควบคุม Piezo Stage ผ่านการป้อน ค่าแรงดันไฟฟ้า ของเครื่อง 3 AXIS PIEZO CONTROLLER ในที่นี้จะทดสอบการ RUN โปรแกรม ให้แสดงผล Output เป็นค่าแรงดันไฟฟ้า

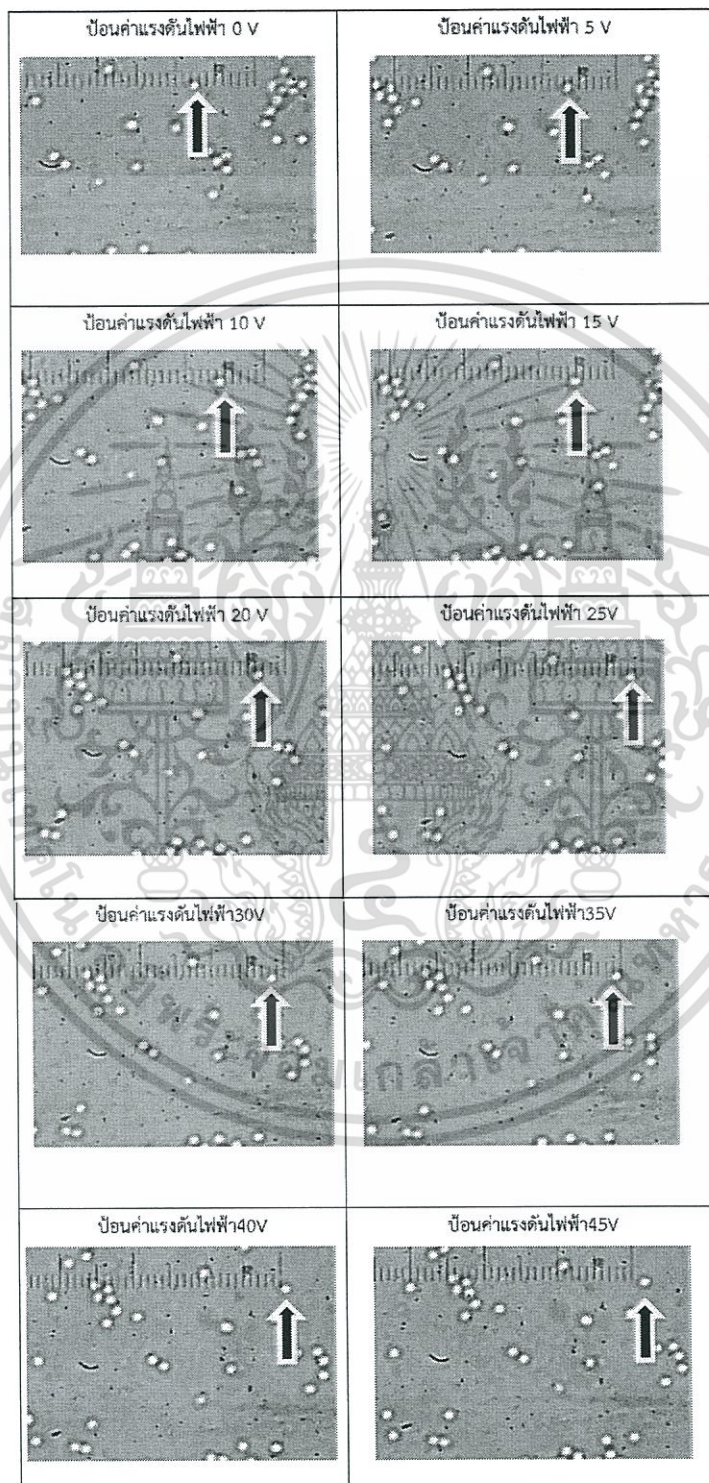


รูปที่ 4.1 แสดง Block Diagram ของโปรแกรมควบคุมตำแหน่ง Piezo Stage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 การวัดตำแหน่งการเลื่อน Piezo Stage แบบ ผ่านโปรแกรมที่แรงดันไฟฟ้า 0-45 V

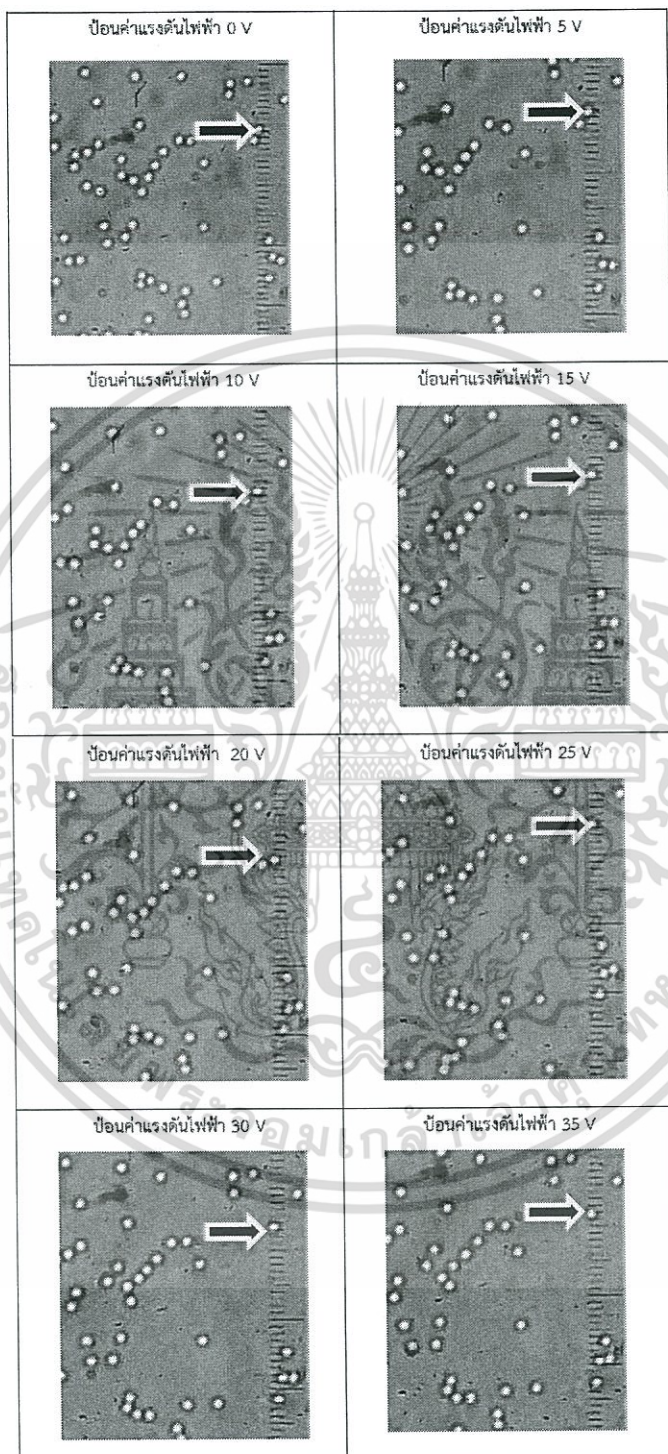
การวัดตำแหน่งการเลื่อน Piezo Stage แบบ ผ่านโปรแกรมโดยจะทำการป้อนค่าแรงดันไฟฟ้า ตั้งแต่ 0-45 V เพื่อสังเกตการเลื่อนตำแหน่งที่เพิ่มขึ้นทีละ 5 V อย่างต่อเนื่องซึ่งจะทำการจัดวางเม็ดพอลิस्टรีนให้มีขนาดตรงกับช่องของสเกล Ocular Micrometer ในแนวแกน X จากนั้นทำการสังเกตการเลื่อน ตำแหน่งของเม็ดปิดเมื่อมีการป้อนแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 4.5 แสดงภาพการเลื่อนตำแหน่งในแนวแกน X ของเม็ดพอลิस्टรีนแบบโปรแกรม ขณะปิดเลเซอร์

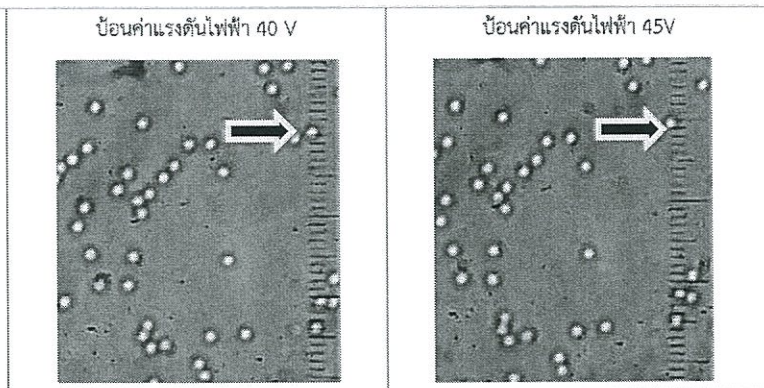
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดตำแหน่งการเลื่อน Piezo Stage แบบ ผ่านโปรแกรมโดยจะทำการป้อนค่าแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 0 - 45 V เพื่อสังเกตการเลื่อนตำแหน่งที่เพิ่มขึ้นทีละ 5 V อย่างต่อเนื่องซึ่งจะทำการจัดวางเม็ดพอลิสไตรีนให้มีขนาดตรงกับช่องของสเกล Ocular Micrometer ในแนวแกน Y จากนั้นทำการสังเกตการเลื่อนตำแหน่งของเม็ดปิดเมื่อมีการป้อนแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 4.6 แสดงภาพการเลื่อนตำแหน่งในแนวแกน Y ของเม็ดพอลิสไตรีนแบบโปรแกรม ขณะปิดเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงภาพการเลื่อนตำแหน่งในแนวแกน Y ของเม็ดพอลิस्टาโรนแบบโปรแกรม ขณะปิดเลเซอร์

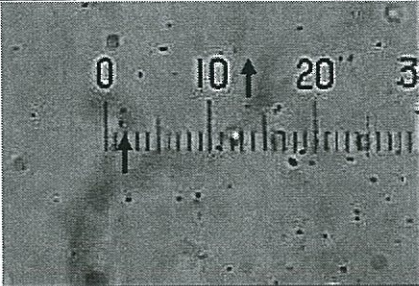
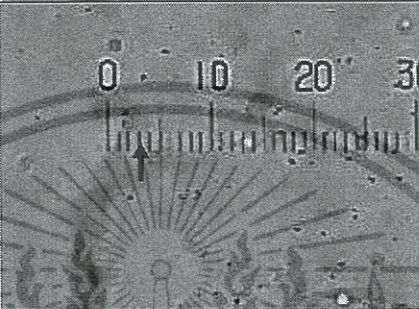

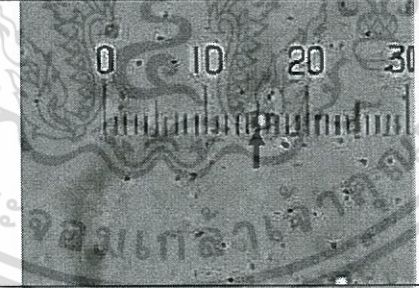
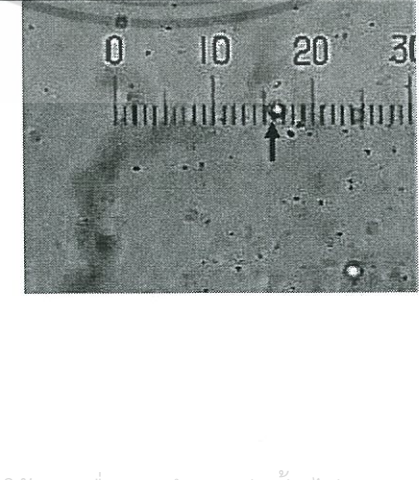
4.2.2 การวัดตำแหน่งการเลื่อน Piezo Stage ด้วยไมโครมิเตอร์เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบการเลื่อนตำแหน่งโดยใช้โปรแกรมLabview

ในการหาค่าการกระจัดของการเลื่อน piezo stage ซึ่งแปรผันตามค่าศักย์ไฟฟ้านั้นสามารถทำได้ โดยเปรียบเทียบกับสเกลของไมโครมิเตอร์ที่เลื่อนไปเป็นระยะที่เท่ากันกับการเลื่อนด้วยแรงดันไฟฟ้าที่ระยะ ตั้งแต่ 0 -18 ไมโครเมตร จึงได้ทำการวัดตำแหน่งการเลื่อนของ Piezo Stage ร่วมกับระบบของกล้องจุลทรรศน์ โดยการจัดวาง Ocular Micrometer เข้ากับเลนส์ใกล้ตาของกล้องจุลทรรศน์ ซึ่งมีกำลังขยาย 10X ในทิศแกน X จากนั้นใช้เลนส์ใกล้วัตถุขนาดกำลังขยาย 100X ในการสังเกตการณ์เลื่อนตำแหน่งของเม็ดบีด โดยทำการปรับไมโครมิเตอร์ให้มีค่าเพิ่มทีละ 2 ไมโครเมตร

ตารางที่ 4.1 แสดงภาพแสดงระยะการเลื่อนเม็ดบีดวัดที่ระยะต่างๆในแนวแกน X โดยดูจากช่อง Ocular Micrometer

ระยะการหมุนอ่านจากไมโครมิเตอร์ (ไมโครเมตร)	รูประยะการเคลื่อนที่ตามแกน X
0 ไมโครเมตร	
2 ไมโครเมตร	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะการหมุนอ่านจาก ไมโครมิเตอร์ (ไมโครเมตร)	รูประยะการเคลื่อนที่ตามแกน X
4 ไมโครเมตร	 <p>Microscope scale showing 4 micrometers. The scale is marked from 0 to 30 micrometers. The 4th micrometer mark is indicated by an upward arrow.</p>
6 ไมโครเมตร	 <p>Microscope scale showing 6 micrometers. The scale is marked from 0 to 30 micrometers. The 6th micrometer mark is indicated by an upward arrow.</p>
8 ไมโครเมตร	 <p>Microscope scale showing 8 micrometers. The scale is marked from 0 to 30 micrometers. The 8th micrometer mark is indicated by an upward arrow.</p>
10 ไมโครเมตร	 <p>Microscope scale showing 10 micrometers. The scale is marked from 0 to 30 micrometers. The 10th micrometer mark is indicated by an upward arrow.</p>
12 ไมโครเมตร	 <p>Microscope scale showing 12 micrometers. The scale is marked from 0 to 30 micrometers. The 12th micrometer mark is indicated by an upward arrow.</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะการหมุนอ่านจากไมโครมิเตอร์ (ไมโครเมตร)	รูประยะการเคลื่อนที่ตามแกน X
14 ไมโครเมตร	
16 ไมโครเมตร	
18 ไมโครเมตร	

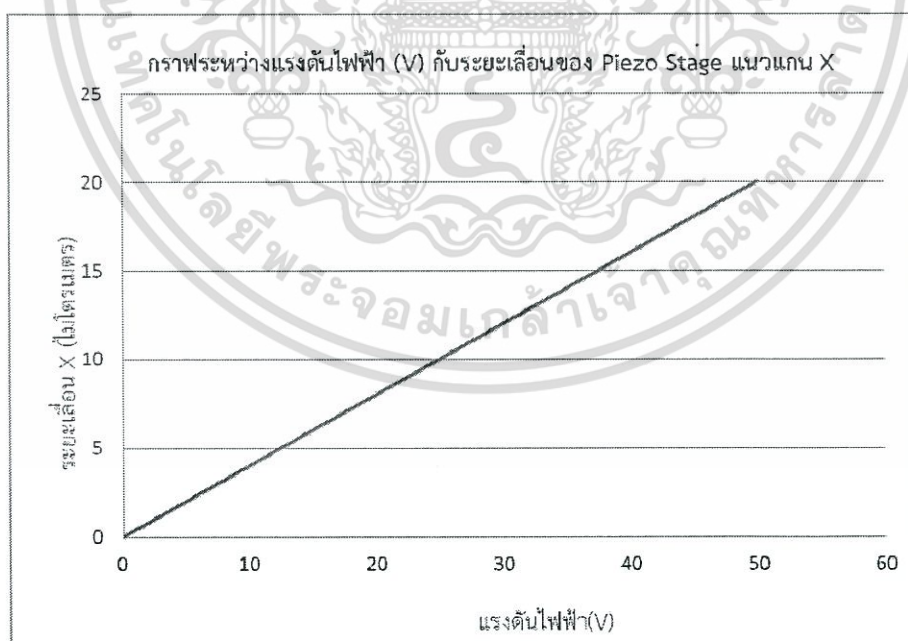
4.2.3 การเปรียบเทียบการเลื่อน Piezo Stage ด้วยไมโครมิเตอร์และผ่านโปรแกรม

จากตารางที่ 4.1 แสดงค่าวัฏระยะการเลื่อนตำแหน่งที่เกิดจากการเปรียบเทียบแบบ 2 ระบบคือ วัดค่าโดยการปรับไมโครมิเตอร์ เพื่อหาระยะที่สามารถเลื่อนตำแหน่ง Piezo Stage ด้วยการป้อนแรงดันไฟฟ้าได้จากการอ่านช่องสเกล Ocular Micrometer ผลจากการเลื่อน Piezo Stage เมื่อเทียบกันระหว่าง 2 ระบบทราบว่า ที่แรงดัน 5 V Piezo Stage เลื่อนได้ 2 ไมโครเมตร ดังนั้นที่แรงดันไฟฟ้า 1 V Piezo Stage จึงเลื่อนได้ 0.4 ไมโครเมตร จากนั้นนำมาเขียนกราฟเพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับ Piezo Stage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

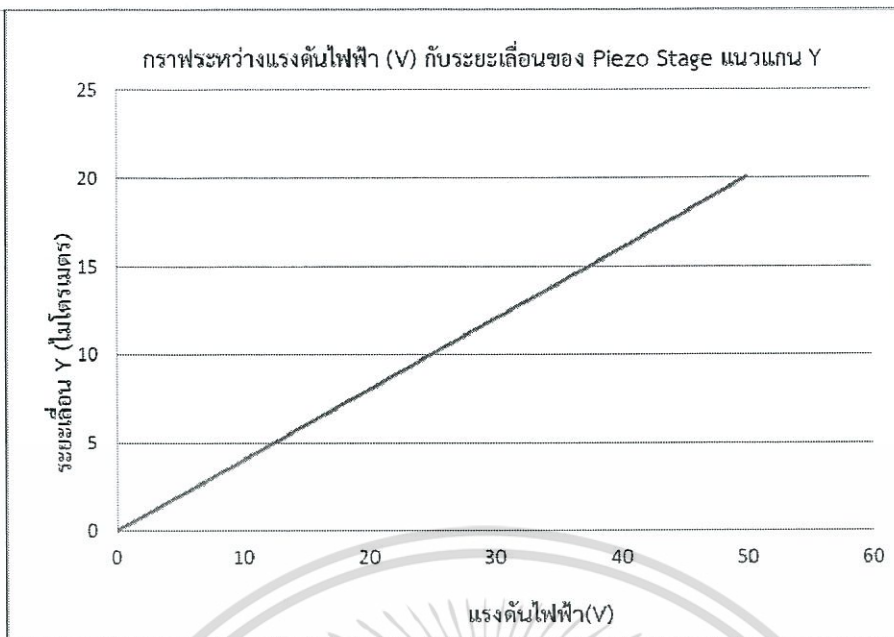
ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบระยะเลื่อนโดยไมโครมิเตอร์และระยะเลื่อนโดยผ่านโปรแกรมควบคุม

ระยะเลื่อนโดยไมโครมิเตอร์ (μm)		ระยะเลื่อนโดยผ่านโปรแกรมควบคุมและแรงดันไฟฟ้าที่ใช้		
		X (μm)	Y (μm)	แรงดันไฟฟ้า (V)
0.0	0.0	0.0	0.0	0
2.0	2.0	2.0	2.0	5.0
4.0	4.0	4.0	4.0	10.0
6.0	6.0	6.0	6.0	15.0
8.0	8.0	8.0	8.0	20.0
10.0	10.0	10.0	10.0	25.0
12.0	12.0	12.0	12.0	30.0
14.0	14.0	14.0	14.0	35.0
16.0	16.0	16.0	16.0	40.0
18.0	18.0	18.0	18.0	45.0



รูปที่ 4.8 แสดงกราฟการเลื่อนตำแหน่ง Piezo Stage แบบผ่านโปรแกรมโดยการป้อนแรงดันไฟฟ้าในแนวแกน X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงการเขียนกราฟการเลื่อนตำแหน่ง Piezo Stage แบบผ่านโปรแกรมโดยการป้อนแรงดันไฟฟ้าในแนวแกน Y



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

จากการดำเนินงานวิจัยนี้เราได้พัฒนาระบบระบบควบคุมตำแหน่งของอนุภาคในระดับไมโครเมตรเพื่อประยุกต์ใช้ในการจับอนุภาคของคีมจับเชิงแสงได้โดยการเขียนโปรแกรม LabVIEW เพื่อเลื่อน Piezo Stage ผ่านการเชื่อมต่อกับ RS232 กับ เครื่อง 3 AXIS PIEZO CONTROLLER ที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดันส่งให้กับ Piezo Stage ขยับตามการป้อนแรงดันผ่านโปรแกรม LabVIEW จากการทดลองทำให้ทราบว่า ที่ แรงดัน 5 V Piezo Stage เลื่อนได้ระยะ 2 ไมโครเมตร ซึ่งสามารถทราบว่า Piezo Stage มีความละเอียดในการเลื่อน 0.4 ไมโครเมตร ระยะเลื่อนสูงสุด 4 mm ตามการปรับไมโครมิเตอร์ของ Piezo Stage จากการทดสอบของระบบ แบบ Manual กับช่อง สเกลของ Ocular Micrometer

ในส่วนของการเซทระบบคีมจับเชิงแสงอย่างง่าย โดยจัดเพื่อศึกษาระบบภาพ โดยการใช้เลนส์ใกล้วัตถุ ขนาด 100X ที่ใช้ในการรวมแสงเลเซอร์ให้เกิดการโฟกัสที่แผ่นสไลด์ และสามารถสังเกตการกระจายตัวของสารตัวอย่างที่นำมาศึกษาและเหตุผลหลักเพื่อสังเกตการเลื่อนระยะของ Piezo Stage ได้อย่างละเอียดผ่านการบันทึกภาพจากกล้อง Webcam อย่างไรก็ตามในช่วงที่เลื่อนฐานตามแนวแกน x หรือ y เนื่องจากเม็ดตัวอย่างอยู่ในสารละลายจึงมีการเคลื่อนที่ไปมาแบบบราวเนียน (Brownian motion) การบันทึกภาพจึงต้องทำอย่างรวดเร็วเพื่อไม่ให้ได้ภาพเม็ดตัวอย่างขณะเคลื่อนที่ออกจากจุดตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

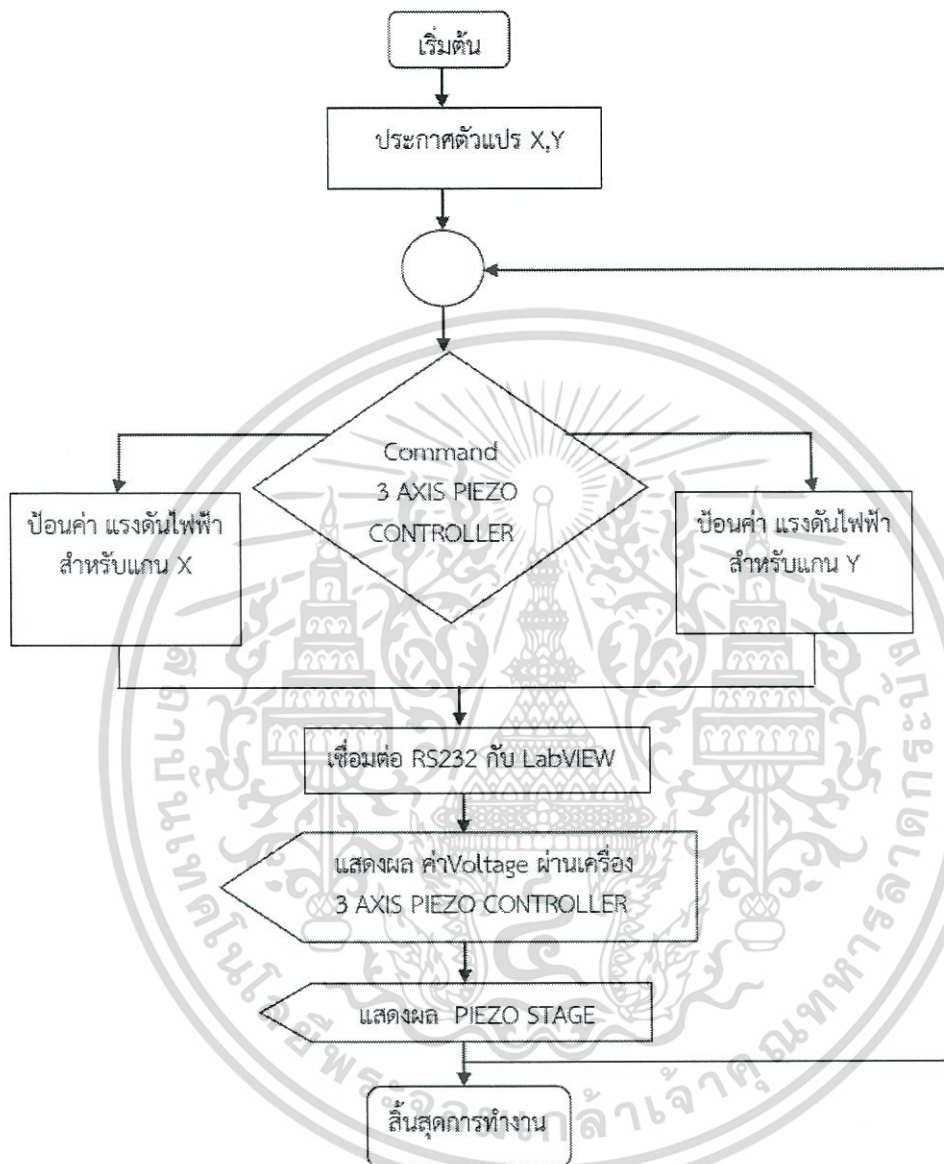
- [1] Ashkin, A., Dziedzic, J. M., Bjorkholm, J. E., and Chu, S. Observation of a single-beam Gradient force optical trap for dielectric particles. Opt.Lett. 11, 288*290 (1986).
- [2] Ashkin, A. History of optical trapping and manipulation of small-neutral particle, atoms, and molecules. IEEE J. Sel. 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] D. Lasne, G. A. Blab, S. Berciaud, M. Heine, L. Groc, D. Choquet, L. Cognet and B. Lounis, “ Single Nanoparticle Photothermal Tracking (SNaPT) of 5-nm Gold Beads in Live Cells,” Biophysical Journal, 91, 4598-4604 (2006).
- [11] MAX300 Series NanoMax 3-Axis Flexure Stage www.thorlabs.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม LabVIEW ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเวอร์ชัน 2013 ซึ่งมีรายละเอียดของโปรแกรมเพื่อให้สามารถทำงานควบคุม Piezo translation stage ดังแผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรม LabVIEW ที่แสดงข้างล่างนี้

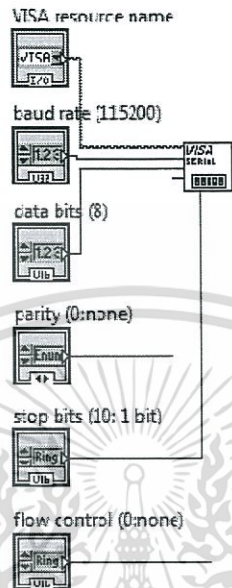


แผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรม LabVIEW

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

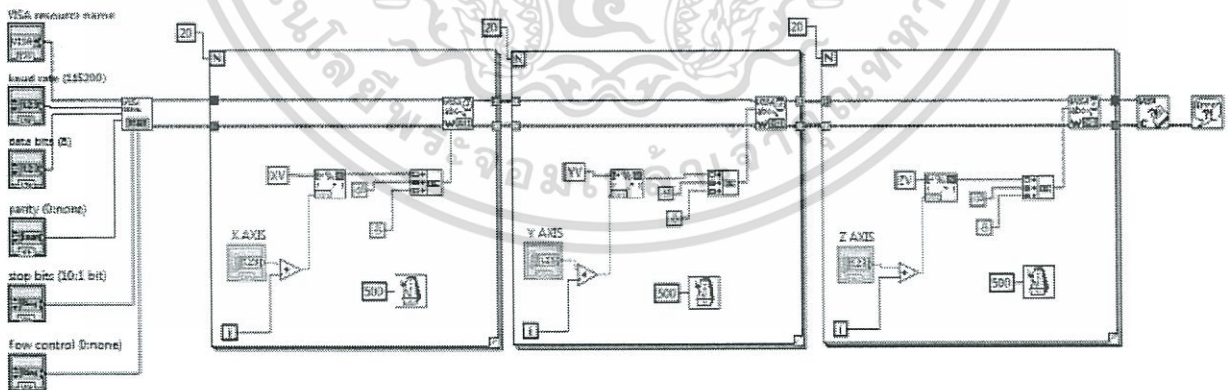
ส่วนที่ 1 Visa Configure Port เป็นตัวกำหนดการเชื่อมต่อกับ Com Port โดยในที่นี้ เลือกใช้เป็น COM3 (เป็นค่าเฉพาะแต่ละเครื่อง) และยังเป็นตัวกำหนดBaud Rate : 115200 , Data Bits : 8 , Parity : none , Stop Bits : 1 และ Flow Control : none โดยเป็นค่า สเปคของแต่ละเครื่อง ในที่นี้เป็นค่าของ เครื่อง 3 AXIS PIEZO CONTROLLER



รูปแสดงในส่วนการเขียน Visa Configure Port

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

ส่วนที่ 3 Visa Close เป็นคำสั่งปิดการทำงาน เมื่อมีการทำงานครบทุกคำสั่ง



รูปแสดง Block Diagram ของโปรแกรมควบคุมตำแหน่ง Piezo Stage ผ่าน 3 AXIS PIEZO CONTROLLER

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล นายวรการ นียากร

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สจล.

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
B.S.	Physics	Lehigh University, PA, USA	2542
Ph.D.	Physics	North Carolina State University NC, USA	2549

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา)

Nanotribology, Surface physics

รางวัลด้านวิชาการ/ด้านวิจัย/งานสร้างสรรค์ (ด้านศิลปะ หรืออื่นๆ) ที่ได้รับ

ปี พ.ศ.	ชื่อรางวัล	สถาบันที่ให้
2554	โล่เกียรตินักประดิษฐ์และผู้สร้างคุณประโยชน์และชื่อเสียงให้สวท. และส่วนรวม	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.)

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่

1. W. Neeyakorn, M. Varma, C. Jayr, J. Burnette, S. Lee, R. Nemanich, C. Grant, J. Krim, "Dynamics of Vapor-Phase Organophosphate on Silicon and OTS", Tribology Letters, Vol 277, pp. 269-276, Sep 2007
2. W. Neeyakorn, M. Varma, C. Jaye, A. Hook, J. Krim, "Vapor-Phase Lubricants: Nanometer-scale Lubrication Mechanisms and Uptake on Silicon, American Vacuum Society Conference, USA 2004
3. S.Suttirak, P. Buranasiri, P.P. Banerjee, N. Witthayakorn, W. Neeyakorn, "Photo-refractive effect in Pb-based relaxor ferroelectric Materials", SPIE, Vol. 6793, 2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Thanaporn Leelawattananon and Worakarn Neeyakorn, Experimental Study of Visible Light Data Transferring System Based on High Power white LEDs, Proceedings of the 3rd International Conference on Engineering and Applied Science (ICEAS 2014), 2014, pp. 451-458, Dec.29-31, 2014, Hongkong.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้