

การประยุกต์และพัฒนาระบบคีบจับเชิงแสง
APPLIED AND DEVELOPMENT IN OPTICAL TWEEZERS
SYSTEMS



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การประยุกต์และพัฒนาระบบคีมจับเชิงแสง
APPLIED AND DEVELOPMENT IN OPTICAL TWEEZERS
SYSTEMS



T149005



อภิธาร อมรบดีรักษ์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 149005
วัน,เดือน,ปี..... 1 ธ.ค. 2560

b. 12878571
i.

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLIED AND DEVELOPMENT IN OPTICAL TWEEZERS SYSTEMS







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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การประยุกต์และพัฒนาระบบคีมจับเชิงแสง
Applied and Development in Optical Tweezers Systems
ชื่อนักศึกษา นายอภิชาต อมรบดีรักษ์ รหัสนักศึกษา 55051667
ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา ฟิสิกส์
ปีการศึกษา 2558
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ประธาน บุรณศิริ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข ประธานกรรมการ	
อ.สุรชาติ กมลดีลก กรรมการ	
อ.ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง กรรมการ	
ผศ.ดร.ประธาน บุรณศิริ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การประยุกต์และพัฒนาระบบคีมจับเชิงแสง
ชื่อนักศึกษา	นายอภิธาร อมรบดีรักษ์ รหัสนักศึกษา 55051667
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ประธาน บุรณศิริ

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการพัฒนาระบบภาพของคีมจับเชิงแสง ซึ่งระบบภาพแบ่งออกเป็น 2 ระบบคือ ระบบภาพแบบกล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่านซึ่งใช้แสงขาวเป็นแหล่งกำเนิดแสง และระบบภาพแบบดิจิทัลฮอโลกราฟี ในการพัฒนาระบบภาพของระบบคีมจับเชิงแสงนี้ได้นำตัวอย่างที่มีขนาดเล็กที่มีรูปร่างและลักษณะที่แตกต่างกันมาใช้ในการศึกษาเพื่อให้ทราบว่าระบบภาพที่ได้พัฒนาขึ้นมาสามารถใช้ได้กับตัวอย่างขนาดเล็กที่มีรูปร่างที่แตกต่างกัน โดยตัวอย่างเป็นวัตถุขนาดเท่ากับ 2 ไมโครเมตรรวมถึงเซลล์ชนิดต่างๆ โดยใช้เลนส์ใกล้วัตถุของ Nikon Plan Fluor 100X/1.30 Oil OFN25 DIC H/N2: ซึ่งเป็นเลนส์หัวจุ่มน้ำมันที่มีกำลังขยาย 100 เท่า และมีค่าการรวมแสง 1.30 ทำให้เห็นภาพวัตถุได้ชัดเจน ถึงแม้จะไม่ได้ใช้ร่วมกับ น้ำมันอิมเมชัน และในระบบเรายังได้ใช้กล้อง Canon EOS 700D Kit ซึ่งให้ความละเอียดของภาพ 18 ล้านพิกเซล และความเร็วชัตเตอร์มากที่สุดถึง 1/4000 วินาที ในการใช้ระบบภาพของกล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่านโดยพัฒนาขึ้นจากระบบเดิมที่เห็นวัตถุได้อย่างชัดเจนที่ 100 ไมโครเมตร ถึง 50 เท่า และในระบบ ดิจิตอลฮอโลกราฟี ซึ่งถ่ายด้วยวิธี มัค-เซนเดอร์ อินเตอร์เฟียร์โรมิเตอร์ ร่วมกับ เลเซอร์ไดโอด ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร ในเซลล์ลำต้นพืชของพืชใบเลี้ยงคู่ ภาพที่ได้ จะมีความ ลึก นูน อย่างชัดเจน เมื่อนำระบบภาพที่ได้พัฒนาแล้วไปใช้งานร่วมกับคีมจับเชิงแสง ซึ่งเป็นการดักจับวัตถุแบบไม่ทำลาย สามารถนำไปวิเคราะห์ผลทางกายภาพของตัวอย่างที่ต้องการศึกษาได้อย่างชัดเจนและเห็นรายละเอียดของภาพมากขึ้น

คำสำคัญ : ดิจิตอลฮอโลกราฟี ระบบคีมจับเชิงแสง

Title	Applied and Development in Optical Tweezers Systems
Student	Mr.Apitam Amonbodeeruk Student ID 55051667
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)
Department	Physics
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2015
Advisor	Asst.Prof.Dr.Prathan Buranasiri

Abstract

This special project is improved in order to obtain high-resolution and high-fidelity images of optical tweezers system. Imaging systems consisted of 2 systems, The first is microscope imaging system and the second is digital holography system. Objective lens Nikon Plan Fluor 100X/1.30 Oil OFN25 DIC H/N2, 100x magnification and 1.30 numerical aperture and Canon EOS 700D Kit ,18 megapixel of resolution, similarly 1/4000 of shutter speeds and 5 fps of continuous shooting speed camera are used in systems. In these systems was obvious image, even although not used with immersion oil, Transmission microscope had developed at 100 micron obvious for 50x Digital holography took by Mach-Zehnder interferometer method with 520 nm diode laser in dicotyledon stem cells. Image was not only recognize but also emboss and depth, however still present in 2D.Avail of Digital holography had several, such as used with optical tweezers system because optical tweezers had not disrupt traps and the embossing depth image can analyze more than image of the stage plane by science analysis in several case.

Keywords : Digital Holography , Optical Tweezers Systems

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้า นาย อภิธาร์ อมรบดีร์รักษ์ นักศึกษา สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ ได้จัดทำโครงการพิเศษเรื่อง การประยุกต์และพัฒนาระบบคิมจับเชิงแสง ซึ่งโครงการพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีตามจุดประสงค์ที่ได้คาดหวังไว้ เนื่องจากได้รับความสนับสนุน คำแนะนำปรึกษา ของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประธาน บุรณศิริ ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพร ฉัตรเกษม ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับ ปีท Polystyrene 4 ไมโครเมตร และ Silica 2 ไมโครเมตร

ขอขอบคุณ ดร.วรากร นียากร ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับ เลนส์ใกล้วัตถุ Nikon Plan Fluor 100X/1.30 Oil OFN25 DIC H/N2

ขอขอบคุณ ดร.สุวรรณ พลายพิชิต ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่คอยให้คำปรึกษา ทางด้านระบบทัศนศาสตร์ การติดตั้งอุปกรณ์ การทดลอง และความช่วยเหลือทางด้านต่างๆในตลอดการทำโครงการพิเศษ

ขอขอบคุณรุ่นพี่นักศึกษาปริญญาโทและปริญญาเอก ที่ห้องปฏิบัติการ Photon Dynamics Laboratory ที่คอยให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในด้านต่างๆ

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ ในสาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจในการทำโครงการพิเศษมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่เมตตา และคอยผลักดันทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ตลอดจนกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจสำคัญให้ข้าพเจ้ามีกำลังใจในการทำงานวิจัยโครงการพิเศษ

อภิธาร์ อมรบดีร์รักษ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	2
1.4.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.4.2 ตารางการดำเนินงาน	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 คีมจับเชิงแสง (Optical tweezers)	4
2.1.1 อนุภาคเรย์ลีห์ (Rayleigh particle)	5
2.1.2 อนุภาคเมียร์ (Mie particle)	6
2.1.3 Beam waist	7
2.1.4 เลนส์ใกล้วัตถุของกล้องจุลทรรศน์ (Objective lens)	8
2.2 Holographic	8
2.2.1 ต้นกำเนิดของฮอโลแกรม	9
2.2.2 การสร้างฮอโลแกรม	10
2.2.3 การประยุกต์ใช้ฮอโลแกรม	10
2.2.4 ลักษณะเฉพาะทางด้านเทคนิค	12
2.2.5 ข้อแตกต่างจากเทคโนโลยีการเก็บข้อมูลแบบเดิม	13
2.3 โปรแกรมเมทแลป (Matlab)	13
2.4 AutoCAD	14
2.5 LabVIEW	16
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	19
3.1 วางแผนและออกแบบระบบงานวิจัย	19
3.1.1 ออกแบบระบบการทำงานของ Optical systems	19
3.1.2 ออกแบบโปรแกรม LabVIEW เพื่อใช้ควบคุม stage motor	21
3.1.3 ออกแบบฐานวางเลเซอร์สำหรับเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน	21
3.2 จัดหาอุปกรณ์สำหรับ Optical systems	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2.1 แหล่งกำเนิดแสง	23
3.2.2 ระบบการทดลองทางแสง	24
3.2.3 ระบบรับภาพ	25
3.3 สร้างระบบตามการวางแผนและการออกแบบ	26
3.3.1 สร้างฐานของเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน	26
3.3.2 สร้างระบบการทดลองทางแสง (Optical systems)	28
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	31
4.1 ผลการวิจัยของ นาย นวพร เหล่าวัฒนธรรม และ นางสาว นภารัตน์ เจียมอนันท์กุล ในปริญญานิพนธ์ X-Y STAGE CONTROLLER FOR OPTICAL TWEEZERS SYSTEMS	31
4.1.1 ผลการทดสอบการทำงานของระบบควบคุมแบบกึ่งอัตโนมัติ	31
4.1.2 ระบบการมองเห็นภาพ	32
4.2 ผลการจัดอุปกรณ์เพื่อสร้างระบบ Beam expander	34
4.2.1 ผลจากการวัดขนาด Back aperture ของเลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยาย 100 เท่า	34
4.2.2 ผลการทดสอบ และวิเคราะห์ ระบบของ Beam expander	35
4.3 ผลการสร้างระบบทัศนศาสตร์ในการมองภาพแบบ Microscope systems	37
4.3.1 ผลการจัดระบบการมองภาพแบบ Microscope systems	37
4.3.2 ผลการทดสอบระบบการมองเห็นภาพ	38
4.4 ผลการสร้างระบบทัศนศาสตร์ในการมองภาพแบบ Digital Holography	46
4.4.1 การจัดระบบการมองภาพแบบ Digital Holography	46
4.4.2 ผลการทดสอบระบบการมองเห็นภาพ	47
4.5 ผลการสร้างระบบทัศนศาสตร์ของ คีมจับเชิงแสง	49
4.5.1 ผลการจัดวางอุปกรณ์ทัศนศาสตร์ของ คีมจับเชิงแสง	49
4.5.2 ผลการทดสอบระบบ คีมจับเชิงแสง	50
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	58
5.1 สรุปผลการวิจัย	58
5.2 ข้อเสนอแนะ	59
เอกสารอ้างอิง	

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงการดำเนินงานวิจัยทำโครงการพิเศษ	3
4.1 แสดงผลคุณสมบัติของ สเต็ปป์มอเตอร์	31
4.2 แสดงผลคุณสมบัติของแท่นเลื่อน X-Y	31
4.3 แสดงภาพของเม็ดปีทขนาด 8 ไมโครเมตร ที่กำลังขยาย 50 และ 250 เท่า	32
4.4 แสดงภาพของเม็ดปีทขนาด 100 ไมโครเมตร ที่กำลังขยาย 50 และ 250 เท่า	33
4.5 แสดงขนาดของ Back aperture ของเลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยาย 100 เท่า	35
4.6 แสดงการวัดขนาดของแสงเลเซอร์	36
4.7 แสดงการดักจับ Silica ขนาด 2 ไมครอน	50



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การดักจับอนุภาค จากการโฟกัสแสงที่มากลงบนอนุภาคขนาดเล็ก	4
2.2 แสดงรูปการดักจับอนุภาคโดยพิจารณาจากการอนุรักษ์โมเมนตัมของระบบ	6
2.3 อนุภาคอยู่ทางด้านขวาของจุดโฟกัส เพื่ออนุรักษ์โมเมนตัม แรงลัพท์ที่เกิดขึ้นจะมีทิศทางไปทางด้านซ้าย ทำให้อนุภาคเคลื่อนที่เข้าหาจุดโฟกัส	7
2.4 อนุภาคอยู่ทางด้านบนของจุดโฟกัส เพื่ออนุรักษ์โมเมนตัม แรงลัพท์ที่เกิดขึ้นจะมีทิศทางไปทางด้านล่าง ทำให้อนุภาคเคลื่อนที่เข้าหาจุดโฟกัส	7
2.5 แสดงภาพ Beam waist ของแสงเลเซอร์	7
2.6 แสดงค่า Numerical aperture ที่แตกต่างกันของเลนส์ใกล้วัตถุ	8
2.7 ภาพฮอโลแกรมชนิดที่สามารถมองเห็นได้ด้วยแสงขาว	9
2.8 ภาพฮอโลแกรมของ michael jackson ที่กำลังแสดงคอนเสิร์ต	10
2.9 ตัวอย่างการสร้างภาพ 3D จากผลผลิตภันท์ ที่ใช้ชื่อว่า Holus	10
2.10 แสดงภาพฮอโลกราฟฟิก ของธนบัตร ขนาด 100 ยูโร	11
2.11 แสดงภาพโปรแกรม Matlab	14
2.12 โปรแกรม AutoCAD 2016	14
2.13 แสดงถึงการออกแบบแบบ Surface modeling	15
2.14 แสดงถึงการออกแบบแบบ Solid modeling	16
2.15 แสดงถึงการออกแบบแบบ Wire-frame modeling	16
2.16 โปรแกรม แลปวิว (LabVIEW) 2015	17
2.17 หน้า Create Project	17
2.18 ลักษณะของ Function Palette และ Control Palette	18
3.1 ระบบคีมจับเชิงแสง	19
3.2 แสดงถึงระบบแทนเลื่อน x y ซึ่งมี QPD เป็นตัวตรวจจับ	19
3.3 ระบบการจับภาพที่ใช้หลักการเดียวกันกับระบบภาพจากกล้องจุลทรรศน์	20
3.4 ระบบภาพแบบ Digital holographic	20
3.5 Block Diagram สำหรับเคลื่อนที่ Stage motor ใน Function Palette	21
3.6 ก) แสดง Block control สำหรับเชื่อมต่อระหว่าง โปรแกรม แลปวิว กับคอมพิวเตอร์ ที่ VISA resource name และสำหรับควบคุมการทำงานของสเต็ปปีงมอเตอร์, ข) แสดง Block control สำหรับควบคุมการทำงานของสเต็ปปีงมอเตอร์	21
3.7 ก้อนอะคริลิก ขนาด 10.75x3.8x5.25 cm	22
3.8 ฐานของเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน ที่ทำการออกแบบในโปรแกรม AutoCAD 2016 (มุมมองด้านขวา)	22
3.9 ฐานของเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน ที่ทำการออกแบบในโปรแกรม AutoCAD 2016 (มุมมองด้านซ้าย)	22

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.10 เลเซอร์ไดโอด 4.5 มิลลิวัตต์ ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร และอุปกรณ์สำหรับ เลเซอร์ไดโอด	23
3.11 เลเซอร์ฮีเลียม-นีออน 20 มิลลิวัตต์ ที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร และ Power Supply	23
3.12 Super bright LEDs 10 วัตต์ ความส่องสว่าง 900 ลูเมน	23
3.13 กระจกที่สามารถสะท้อนในช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็นได้ และอุปกรณ์ต่างๆสำหรับ กระจก	24
3.14 เลนส์นูนและเลนส์เว้าที่มีความยาวโฟกัสต่างๆ	24
3.15 บีมสปริตเตอร์แบบ 50:50 ทั้งแบบที่มีและไม่มีโพลาริซ	24
3.16 แสดงถึง Colored Glass Filter 350 - 700 nm, Shortpass Filter Cut-Off Wavelength 600 nm และ Mount สำหรับ Filter	24
3.17 แสดงถึง quarter wave plate, half wave plate และ ND Filter	25
3.18 แผ่น Polarized และ Mounting ที่สามารถปรับมุมได้	25
3.19 Nikon Objective lens 100X/1.30 Oil	25
3.20 Canon EOS 700D ความละเอียด 18.2 ล้านพิกเซล APS-C Hybrid CMOS sensor	25
3.21 อะคริลิกสองก้อนซึ่งถูกติดด้วยเทปกาวใส	26
3.22 ก้อนอะคริลิกทั้งสองก้อนที่ถูกติดด้วยเทปกาวใส ซึ่งอยู่ระหว่างการกัดเจาะให้เป็นรูป สามเหลี่ยมตามการออกแบบ	26
3.23 ก้อนอะคริลิกซึ่งถูกกัดเสร็จสิ้น จนมีลักษณะเป็นฐานวางเลเซอร์รูปตัว M	27
3.24 แสดงถึงส่วนประกอบฐานของเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนทั้งหมด	27
3.25 เลเซอร์ฮีเลียม-นีออน บนฐานวางเลเซอร์รูปตัว M	28
3.26 Optical tweezers systems	29
3.27 Microscope imaging systems	29
3.28 Digital holographic microscopy systems	30
4.1 แสดงภาพเลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยาย 100 เท่า	34
4.2 ก) แสดงภาพเลนส์ใกล้วัตถุและ Back aperture ของเลนส์ที่มีกำลังขยาย 100 เท่า ข) แสดง Black aperture ของเลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยาย 100 เท่า	34
4.3 ภาพการจัดระยะของ Beam expander กำลังขยาย 3 เท่า	35
4.4 ภาพระบบการมองเห็นแบบ Microscope systems	37
4.5 ระบบการมองภาพแบบ Microscope systems	38
4.6 ภาพเซลล์หัวหอมที่กำลังขยาย 200 เท่า	38
4.7 ภาพเซลล์หัวหอมที่กำลังขยาย 450 เท่า	39
4.8 ภาพเซลล์หัวหอมที่กำลังขยาย 1000 เท่า	39
4.9 ภาพเซลล์รากของพืชที่กำลังขยาย 200 เท่า	39

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 ภาพเซลล์รากของพืชที่กำลังขยาย 1000 เท่า	40
4.11 ภาพเซลล์ลำต้นพืชของพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่กำลังขยาย 200 เท่า	40
4.12 ภาพเซลล์ลำต้นพืชของพืชใบเลี้ยงคู่ที่กำลังขยาย 200 เท่า	40
4.13 ภาพเซลล์ลำต้นพืชของพืชใบเลี้ยงคู่ที่กำลังขยาย 200 เท่า	41
4.14 ภาพเซลล์ของใบไม้ในพืชใบเลี้ยงคู่ที่กำลังขยาย 200 เท่า	41
4.15 ภาพละอองเรณูในเซลล์สปีบนส์พืชเพศผู้ที่กำลังขยาย 200 เท่า	41
4.16 ภาพขาของมดที่กำลังขยาย 200 เท่า	42
4.17 ภาพบีด Polystyrene 4 ไมครอน ที่กำลังขยาย 450 เท่า	42
4.18 ภาพบีด Silica 2 ไมครอน ที่กำลังขยาย 450 เท่า	42
4.19 ภาพบีด Silica 2 ไมครอน ที่กำลังขยาย 450 เท่า	43
4.20 ภาพบีด Silica 2 ไมครอน	43
4.21 ภาพบีด Silica 2 ไมครอน ที่กำลังขยาย 450 เท่า	43
4.22 ภาพบีด Silica 2 ไมครอน	44
4.23 ภาพบีด Silica 2 ไมครอน ที่กำลังขยาย 450 เท่า	44
4.24 ภาพบีด Silica 2 ไมครอน	45
4.25 ก) ภาพบีด Silica 2 ไมครอน ที่กำลังขยาย 450 เท่า, ข) ภาพบีด Silica 2 ไมครอน ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า	45
4.26 ระบบการมองภาพแบบ Digital holographic microscopy systems	46
4.27 ระบบการมองภาพแบบ Digital holographic microscopy systems	47
4.28 ภาพเซลล์ลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่ และภาพขยาย	47
4.29 ภาพขยายของเซลล์ลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่ เพื่อแสดง ความมีมิติของภาพ	48
4.30 ภาพเซลล์ลำต้นพืชของพืชใบเลี้ยงคู่ที่กำลังขยาย 450 เท่า	48
4.31 ภาพแสดงความหนาของเซลล์ลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่	49
4.32 ระบบการดักจับอนุภาคของ คีมจับเชิงแสง (Optical tweezers)	50

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการพิเศษ

ความก้าวหน้าของวิทยาศาสตร์ปัจจุบันนี้ถือได้ว่ามีความก้าวหน้ามากกว่าในอดีตเป็นอย่างมาก ซึ่งในช่วงศตวรรษที่ผ่านมา วิทยาการ เทคโนโลยี ต่างก็ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของโลก ที่มีอุปสงค์แปรเปลี่ยนไป โดยที่ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีต่างก็เกิดจากการนำหลักการพื้นฐาน ของศาสตร์ต่างๆ ทั้งฟิสิกส์ คณิตศาสตร์ เคมี ชีววิทยา มาประยุกต์ใช้แทบทั้งสิ้น และหากจะกล่าวถึงการศึกษาวัตถุที่มีขนาดในระดับ ไมโครเมตร นาโนเมตร เป็นต้น ในการเคลื่อนย้ายวัตถุขนาดดังกล่าวมาเพื่อศึกษาสมบัติต่างๆ เราจะทำอย่างไร จะเคลื่อนย้ายด้วยอะไร ใช้ตะเกียบ ใช้ลวด หรือว่าอุปกรณ์ขนาดเล็กๆ แต่ถ้ามีข้อแม้ว่า ห้ามให้วัตถุเสียหาย หรือมีความเสียหายน้อยที่สุด เราจะทำอย่างไร เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ทั้งนี้เราได้มีการนำความรู้ในเรื่อง แสง และระบบทัศนศาสตร์มาประยุกต์ใช้ ซึ่งก็คือ คีมจับเชิงแสง (optical tweezers) โดยหลักการนี้ถูกคิดค้นและทดลองโดย Arthur Ashkin ในปี 1970 และในปัจจุบัน คีมจับเชิงแสงก็ถือได้ว่าเป็นวิธีการที่ถูกใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในทางชีววิทยา เคมี และทางด้านการแพทย์

หลักการของคีมจับเชิงแสงถือได้ว่าเป็นหลักการหนึ่งที่น่าสนใจได้ยากกว่าทำไมแสงถึงสามารถที่จะจับวัตถุต่างๆได้ แสงใช้วิธีใด ซึ่งจริงๆแล้ว หลักการของคีมจับเชิงแสงนั้นอาศัยการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของสิ่งเล็กๆ ที่เราต้องการ โดยแสงประพาดตัวเป็นได้ทั้งคลื่นและอนุภาค ซึ่งแสงที่ใช้ในการจับวัตถุนั้น ต้องเป็นแสงเอกรงค์ (Monochromaticity) และมีความเป็นอาพันธ์ (coherence) ที่กำลังของแสงสูงประมาณหนึ่ง โดยที่เมื่อแสงโฟกัสเข้าไปในวัตถุที่มีความโปร่งใสระดับหนึ่ง และดัชนีหักเหของวัตถุที่ต้องการจะต้องมากกว่าตัวกลางรอบๆ เพื่อให้แสงสามารถหักเหเข้าไปภายในและสะท้อนที่พื้นผิวได้ ซึ่งเมื่อแสงโฟกัสเข้าไปที่วัตถุแล้ว ที่จุดโฟกัสลำแสงของแสงอาพันธ์จะมีความเข้มสูงสุด ทำให้มีแรงลัพท์ในทิศทางเข้าหาจุดศูนย์กลางของลำแสง จึงทำให้วัตถุเหมือนถูกดักจับเอาไว้

เทคโนโลยี ฮอโลกราฟี (Holography) เป็นเทคโนโลยีที่สร้างขึ้นในรูปแบบของภาพที่สร้างขึ้นให้ดูเหมือน มีความชัด ลึก นูน ดุมีมิติ โดยจะดูแตกต่างอย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับภาพที่เป็นภาพเดียวกันแต่ไม่ได้ถ่ายด้วยเทคโนโลยี ฮอโลกราฟี เราจะเห็นภาพฮอโลกราฟีแบบนี้ได้จากบัตรเครดิต, รูปในวารสารชั้นนำหรือรูปภาพฮอโลกราฟีที่ขายตามท้องตลาดต่างๆไป แต่อย่างไรก็ตามเราจะพบว่าภาพฮอโลกราฟีแบบนี้ถึงแม้จะให้ภาพที่ดู ลึก นูน มีมิติ แต่ก็ยังคงเป็นภาพที่แสดงในแผ่นกระดาษ คอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นการแสดงแบบสองมิติ ยังไม่ใช่ภาพสามมิติ อย่างแท้จริง ซึ่งเป็นภาพที่มีลักษณะ ลึก นูน ราวกับจับต้องได้ ใกล้เคียงกับภาพที่เราเห็นในปัจจุบัน แต่อย่างไรก็ตาม การแสดงภาพฮอโลกราฟีแบบสองมิติก็เพียงพอที่เราจะนำมาประยุกต์ใช้ในการทดลองของเรา

Reconstruction เป็นโปรแกรม ที่เขียนขึ้นโดยใช้โปรแกรม แมทแลป (Matlab) ในคอมพิวเตอร์ซึ่งเหมาะสมอย่างยิ่งในการทดลอง ที่เกี่ยวข้องกับการทำ ฮอโลกราฟี (Holography) อย่างมาก เนื่องจากสามารถ สร้างความคมชัดของภาพ ฮอโลกราฟีได้ โดยการวัดระยะของกล้องกลับเลนส์ตัวสุดท้าย ของสารตัวอย่างที่เราใช้ในการทดลอง และนำค่าดังกล่าวที่ได้ระบุลงไป ใน แมทแลป ก็จะได้ภาพที่มีลักษณะที่คมชัดขึ้นไม่มากก็น้อย และนอกจากนั้นยังสามารถวัดขนาดของวัตถุหรือสารตัวอย่าง โดยจะได้ขนาด สัดส่วนจริง ของขนาดสารที่นำมาใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยเหตุนี้ทางผู้จัดทำโครงการทดลองจึง สนใจประยุกต์การใช้เทคโนโลยี ฮอโลกราฟี (Holography) ร่วมกับ คีมจับเชิงแสง (Optical tweezers) เพื่อสามารถนำข้อดี ของสองระบบดังกล่าว มาแสดงผลร่วมกัน โดย คีมจับเชิงแสง จะนำมาประยุกต์ใช้ในด้าน การดักจับสารตัวอย่าง ซึ่งเป็นการดักจับแบบที่ไม่ทำให้สารตัวอย่างเกิดความเสียหาย หรือเกิดความเสียหายน้อยที่สุด และนำระบบ ฮอโลกราฟี ซึ่งในที่นี่ เราจะใช้ระบบของ ดิจิตอลฮอโลกราฟี ในการทดลอง ซึ่งจะทำให้สารตัวอย่าง ที่นำมาใช้ในการทดลองมีภาพที่ดู ลึก นูน มีมิติ และสุดท้ายการ Reconstruction นำมาใช้เพื่อสร้างความคมชัดของภาพ และวัดขนาดสารตัวอย่างที่เรานำมาใช้ในการทดลองได้ เนื่องจากระบบฮอโลกราฟี ทำให้ภาพที่ได้มีความ ลึก นูน ดูมีมิติ เป็นภาพที่ใกล้เคียงสามมิติ เป็นสัดส่วนจริงของสารตัวอย่าง การวัดขนาดสารตัวอย่าง ด้วยการ Reconstruction จึงทำได้ง่าย และนอกจากนี้ระบบข้างต้น ที่นำมาดำเนินการร่วมกันก็ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ ได้อย่างแพร่หลาย อย่างเช่น การศึกษา เซลล์มะเร็ง เซลล์เม็ดเลือด ฯลฯ โดยการดักจับเซลล์เหล่านี้ และศึกษาการเปลี่ยนแปลง โดยบันทึกเป็นภาพฮอโลกราฟี และนำภาพ มาวิเคราะห์ วัดขนาดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ของสสาร และนำไปศึกษาต่อว่า ขนาดมีผลอย่างไรกับอัตราการเจริญเติบโตในเซลล์ต่างๆ ความเปลี่ยนแปลงทางชีววิทยาเมื่อนำไปทดลองทางด้านเคมี และการเปรียบเทียบเซลล์ชนิดเดียวกันที่เจริญเติบโตใน พืชหรือสัตว์ ว่ามีการเจริญเติบโตอย่างไร และนอกจากนี้ก็ยังสามาร นำระบบดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ได้อีกหลากหลาย ในการทดลองทั้งปัจจุบัน และในอนาคต แต่อย่างไรก็ตามในงานวิจัยของผู้ทำการทดลอง เราได้ประยุกต์การทำงานของ คีมจับเชิงแสง (Optical tweezers) และดิจิตอลฮอโลกราฟี (Digital holography) ทำงานแยกส่วนกันแต่ก็หวังอย่างยิ่งว่าต่อไปในอนาคต จะมีการนำสองระบบข้างต้นมาใช้งานร่วมกันและก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาหลักการพื้นฐาน ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และการทำงานของคีมจับเชิงแสง และดิจิตอลฮอโลกราฟี
- 2) เพื่อออกแบบการสร้าง แก้ว และการพัฒนาอุปกรณ์คีมจับเชิงแสง ดิจิตอลฮอโลกราฟีและการทดลอง
- 3) เพื่อนำคีมจับเชิงแสงและ ดิจิตอลฮอโลกราฟี ไปประยุกต์ใช้งานทางด้านต่างๆที่เกี่ยวข้อง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1) ศึกษาออกแบบและทำความเข้าใจเกี่ยวกับ คีมจับเชิงแสง และดิจิตอลฮอโลกราฟี
- 2) ออกแบบและเปรียบเทียบ ระบบภาพของคีมจับเชิงแสงแบบ Microscope Imaging Systems และ Digital Holographic Microscopy (DHM)
- 3) พัฒนาและแก้ไขระบบคีมจับเชิงแสง และระบบภาพ ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

1.4.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับ ทฤษฎี หลักการ และอุปกรณ์พื้นฐานที่จำเป็นสำหรับคีมจับเชิงแสง และดิจิทัลฮอโลกราฟี เพื่อวางแผนและออกแบบระบบการทดลอง
- 2) เตรียมอุปกรณ์และเริ่มทำการติดตั้งระบบการทดลองตามแบบที่กำหนดไว้
- 3) ทำการทดสอบระบบ Microscope Imaging Systems
- 4) ทำการทดสอบระบบ Digital Holographic Microscopy (DHM)
- 5) นำคีมจับเชิงแสงมาทดลองกับสสารที่ได้เตรียมไว้สำหรับการทดลอง
- 6) ตารางการดำเนินงาน

1.4.2 ตารางการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แสดงการดำเนินงานวิจัยทำโครงการพิเศษ

แผนการดำเนินงาน	มี.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1.ศึกษาหาข้อมูล												
2.วางแผนและออกแบบระบบ												
3.จัดระบบการทดลอง												
4.ทดสอบการทำงานของระบบ												
5.ทำการทดลอง												
6.เก็บและวิเคราะห์ผลการทดลอง												
7.สรุปผลการทำงานของระบบ												

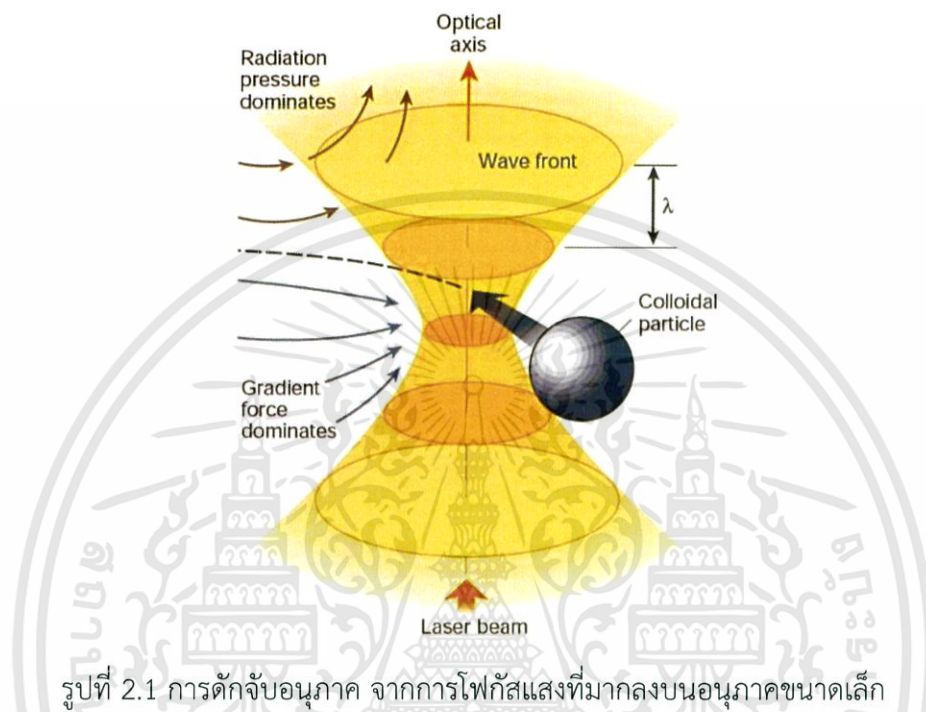
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) เข้าใจหลักการพื้นฐาน การทำงานของคีมจับเชิงแสง ดิจิตอลฮอโลกราฟี และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
- 2) สามารถออกแบบการสร้าง แก๊ซ พัฒนา ระบบคีมจับเชิงแสง และระบบดิจิทัลฮอโลกราฟี
- 3) สามารถนำระบบคีมจับเชิงแสง และดิจิทัลฮอโลกราฟี ไปประยุกต์ใช้งานในการวิจัยด้านต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คีมจับเชิงแสง (Optical tweezers)



รูปที่ 2.1 การดักจับอนุภาค จากการโฟกัสแสงที่มากลงบนอนุภาคขนาดเล็ก

คีมจับเชิงแสง (Optical Tweezers) หลักการนี้ถูกคิดค้นและทดลองโดย Dr. Arthur Ashkin เมื่อปี ค.ศ.1970 และถูกประดิษฐ์ขึ้นเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1986 โดย Arthur Ashkin กับ Steven Chu และทีมงาน เพื่อศึกษาอนุภาคขนาดเล็กโดยใช้แสงเลเซอร์เป็นตัวดักจับอนุภาคขนาดเล็ก Optical tweezers ใช้หลักการพื้นฐานในวิชาฟิสิกส์ที่เรียกว่าความดันรังสี (radiation pressure) ซึ่งเป็นที่รู้จักกันมาตั้งแต่สมัยศตวรรษที่ 17 เมื่อ Johannes Kepler อธิบายปรากฏการณ์ที่หางของดาวหางชี้ไปในทิศทางตรงข้ามกับดวงอาทิตย์เสมอว่าแรงดันรังสีจากแสงอาทิตย์เป็นตัวผลักดันอนุภาคในกลุ่มหมอกเหล่านั้นโดยในปี ค.ศ. 1905 Albert Einstein ได้อธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (photoelectric) ว่าแสงและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอื่นๆ ประกอบด้วยอนุภาคเรียกว่าโฟตอนซึ่งมีโมเมนตัม

$$P = \frac{h}{\lambda} \tag{2.1}$$

โดยที่ P คือ โมเมนตัมของแสง

h คือ ค่าคงที่ของพลังค์

λ คือ ความยาวคลื่นแสง

เมื่อแสงตกกระทบวัตถุใดๆจะมีการถ่ายเทโมเมนตัมของโฟตอนให้แก่วัตถุจึงมีแรงกระทำต่อวัตถุสำหรับแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนโลกมีความเข้มข้นเราจึงไม่รู้สึกร่างถูกแสงผลัดเมื่อยืนตากแดด แต่สำหรับ Optical tweezers ใช้การโฟกัสแสงเลเซอร์ที่มีกำลังสูงลงบนจุดเล็กๆแรงจากความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รังสีจึงมีค่ามากพอที่จะทำให้อนุภาคเล็กๆเคลื่อนที่ได้โดยใจความสำคัญของ Optical tweezers คือการโฟกัสแสงเลเซอร์ที่มีกำลังสูงลงบนจุดเล็กๆ ซึ่งจำเป็นต้องใช้เลนส์ใกล้วัตถุของกล้องจุลทรรศน์ (microscope objective lens) เพื่อให้เกิดการรวมแสงที่มากที่สุดลงบนอนุภาคขนาดเล็ก และจะต้องเป็นกล้องจุลทรรศน์ที่มีค่า NA (Numerical aperture) สูงเพื่อให้เกิดความแตกต่างของความเข้มแสงที่มาก โดยจะส่งผลให้แรง Gradient มากกว่าแรง Scattering จึงทำให้สามารถดักจับอนุภาคได้ โดยทั้งนี้อนุภาคจะต้องโปร่งใสและมีดัชนีหักเหมากกว่าตัวกลางรอบๆอนุภาค

เราสามารถแบ่งแยกอนุภาคได้เป็น 2 ชนิดโดยใช้ขนาดเป็นตัวแบ่งแยกได้แก่อนุภาคเรย์ลีย์ (Rayleigh particle) ซึ่งเป็นอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าความยาวคลื่นแสงมาก ($d \gg \lambda$) และอนุภาคเมียร์ (Mie particle) เป็นอนุภาคที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่าความยาวคลื่นแสงมาก ($d \gg \lambda$)

2.1.1 อนุภาคเรย์ลีย์ (Rayleigh particle)

ในกรณีนี้ สนามไฟฟ้าจากแสงเลเซอร์ เมื่อเคลื่อนที่ผ่านอนุภาคที่ขณะใดๆ จะถือได้ว่าค่อนข้างมีความสม่ำเสมอ มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างช้าๆ ประจุในอนุภาคจะเคลื่อนที่ตามการเปลี่ยนแปลงนี้ได้ทัน และสามารถحثทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า เกี่ยวกับการเหนี่ยวนำประจุ และพลังงานสะสมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในฉนวน (Dielectrics) มาคำนวณหาแรงได้ กล่าวคือ จะใช้หลักการของไดโพลในกรณีข้างต้น โดยในหลักการนี้จะมีแรงที่เกี่ยวข้องคือ แรงเกรเดียนท์ (gradient force) และแรงกระเจิง (scattering force)

แรงเกรเดียนท์ (gradient force)

เกิดจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำทำให้เกิดการแยกตัวระหว่างประจุบวกและลบภายในอนุภาคกลายเป็นไดโพลจากนั้นไดโพลจะถูกดึงดูดเข้าหาจุดที่มีความเข้มของแสงสูงซึ่งก็คือจุดโฟกัสซึ่งแรงในการจับอนุภาคของ Optical tweezers จะมากหรือน้อย ก็ขึ้นอยู่กับความสามารถในการควบคุมแสงให้โฟกัสลงมาเป็นจุดที่เล็กที่สุดเพื่อให้เกิดความต่างของความเข้มแสงมากที่สุดนั่นเอง โดยแรงเกรเดียนท์มีค่า

$$F_{gra} = \frac{\alpha}{2} \nabla \langle E^2 \rangle \quad (2.2)$$

เมื่อ

$$\alpha = n_m^2 r^3 \left(\frac{m^2 - 1}{m^2 + 1} \right)$$

โดยที่ $\nabla \langle E^2 \rangle$ คือ ผลเฉลี่ยของสนามไฟฟ้ากำลังสอง n และ n_m คือดัชนีหักเหของอนุภาคและตัวกลางตามลำดับและ $m = n/n_m$ คือดัชนีหักเหเปรียบเทียบและ r คือรัศมีของอนุภาคแรงกระเจิง (Scattering force)

มีทิศทางขนานกับการที่ของลำแสง เกิดจากการที่อนุภาคดูดกลืนแสง (absorption) และมีการกระเจิงของแสงออกมาจากอนุภาคในทุกทิศทาง (scattering) ทำให้เกิดการถ่ายเทโมเมนตัมให้แก่อนุภาคแรงกระเจิงมีทิศทางเดียวกับการแผ่รังสีของแสงแต่มีค่าน้อยกว่าแรงเกรเดียนท์มากว่าวัตถุจึงมีแนวโน้มที่จะถูกผลักเข้าหาจุดโฟกัสแรงกระเจิงมีค่า

$$F_{scatt} = n_m \frac{\langle S \rangle \sigma}{c} \quad (2.3)$$

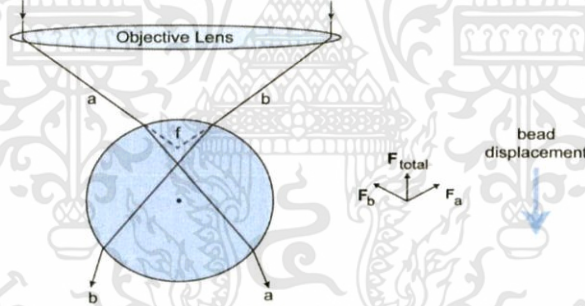
เมื่อ

$$\sigma = \frac{8}{3} \pi (kr^4) r^2 \left(\frac{m^2 - 1}{m^2 + 1} \right)^2$$

โดยที่ $\langle S \rangle$ คือผลเฉลี่ยของพอยติงเวกเตอร์ c คือความเร็วแสง และ $k = 2\pi / \lambda$ คือเลขคลื่นของเลเซอร์

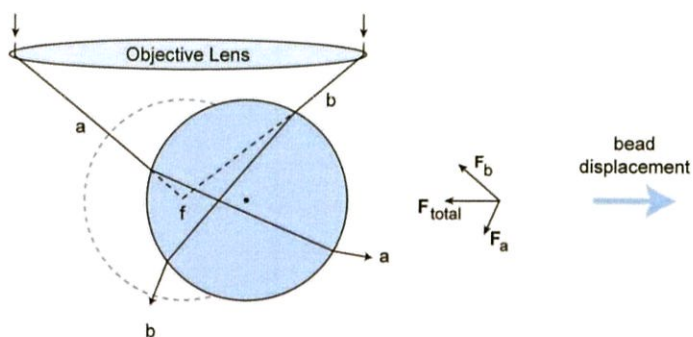
2.1.2 อนุภาคเมียร์ (Mie particle)

ในกรณีนี้ สนามไฟฟ้าจากแสงเลเซอร์ ที่เคลื่อนที่ผ่านอนุภาคขณะใดๆ จะไม่สม่ำเสมอ และมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ทำให้ไม่สามารถใช้ทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าได้ ที่ใช้อธิบายใน อนุภาคเรย์ลีย์ ได้ ดังนั้นจึงต้องมองแสงเป็นอนุภาคหรือโฟตอนที่มีการหักเหผ่านผิวของอนุภาคตามกฎของสเนลล์ ถ้าอนุภาคมีดัชนีหักเหมากกว่าดัชนีหักเหของตัวกลางรอบๆ อนุภาคจะประพฤติตัวเป็นเลนส์นูน และจะหักเหแสงให้เบนไปในทิศทางเข้าหาจุดศูนย์กลางของอนุภาค ถ้าพิจารณาแสงเป็นอนุภาคโฟตอนซึ่งแต่ละโฟตอนมีโมเมนตัม $P = h / \lambda$ จะพบว่าโฟตอนที่ผ่านอนุภาคออกมามีทิศทางเปลี่ยนไปแต่มีขนาดของโมเมนตัมเป็น P เท่าเดิมเนื่องจากความยาวคลื่นเดิม แต่ถ้าพิจารณาเฉพาะโมเมนตัมในแนวแกน y พบว่าเปลี่ยนไปเท่ากับ P_y ซึ่งจะส่งผลทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ไปในทิศ $-y$ ด้วยโมเมนตัม $-P_y$ เพื่อที่จะอนุรักษ์โมเมนตัมในแนวแกน y ของระบบ

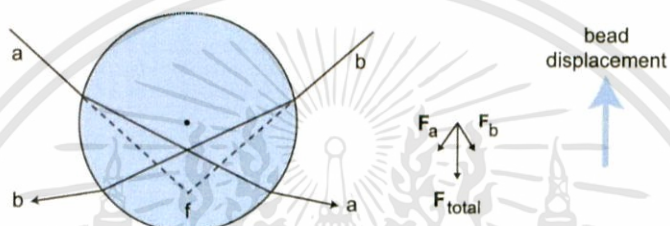


รูปที่ 2.2 แสดงรูปการดักจับอนุภาคโดยพิจารณาจากการอนุรักษ์โมเมนตัมของระบบ

จากรูปที่ 2.2 เมื่อตำแหน่งของอนุภาคอยู่เลยจุดโฟกัสปกติของเลนส์ไปทางด้านล่างจะเห็นว่าลำแสง a มีการหักเหสองครั้งที่พื้นผิวทั้งสองด้านของอนุภาค (ในกรณีนี้อนุภาคที่มีดัชนีหักเหของวัตถุมากกว่าของตัวกลางซึ่งเป็นกรณีที่มีมักจะเกิดขึ้นทั่วไป) เมื่อลำแสง a พุ่งออกจากอนุภาคจะมีทิศเบนไปในทิศทางซ้ายของทิศทางเดิมแสดงว่าแสงมีโมเมนตัมเพิ่มขึ้นในทิศทางซ้ายจากหลักการอนุรักษ์โมเมนตัมจะได้ว่าต้องมีแรงปฏิกิริยา F_a กระทำต่ออนุภาคในทิศบนขวาในทำนองเดียวกันการหักเหของลำแสง b ทำให้เกิดแรง F_b ในทิศบนซ้ายแรงลัพธ์ F ซึ่งเกิดจากผลรวมของแรงลำแสงเลเซอร์ทั้งหมดจะมีทิศขึ้นและเข้าหาจุดโฟกัส



รูปที่ 2.3 อนุภาคอยู่ทางด้านขวาของจุดโฟกัส เพื่ออนุรักษ์โมเมนตัม แรงลัพธ์ที่เกิดขึ้นจะมีทิศทางไปทางด้านซ้าย ทำให้อนุภาคเคลื่อนที่เข้าหาจุดโฟกัส



รูปที่ 2.4 อนุภาคอยู่ทางด้านบนของจุดโฟกัส เพื่ออนุรักษ์โมเมนตัม แรงลัพธ์ที่เกิดขึ้นจะมีทิศทางไปทางด้านล่าง ทำให้อนุภาคเคลื่อนที่เข้าหาจุดโฟกัส

2.1.3 Beam waist

คือส่วนโค้งเว้าของแสงเลเซอร์ ซึ่งถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมาก เพราะการทำให้ส่วนเว้านี้เล็กลงได้มากที่สุดจะทำให้การดักจับมีประสิทธิภาพมากขึ้นโดย

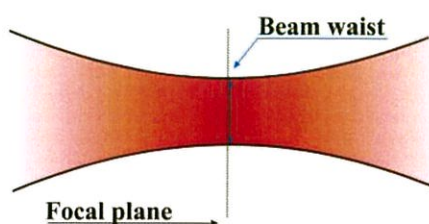
$$W_f \cong \frac{\lambda_0 f}{\pi W_i} \quad (2.4)$$

เมื่อ λ_0 คือ ความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์

f คือ ความยาวโฟกัสของเลนส์ใกล้วัตถุ

W_i คือ ขนาดของลำแสงเลเซอร์ก่อนผ่านเข้ามายังเลนส์ใกล้วัตถุ

ดังนั้นจะเห็นว่าควรให้ W_i มีค่ามากที่สุดเพื่อให้ Beam waist ที่ได้มีขนาดเล็กลงมาก

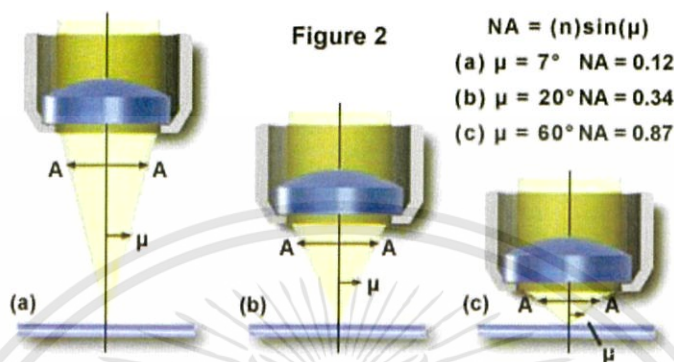


รูปที่ 2.5 แสดงภาพ Beam waist ของแสงเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 เลนส์ใกล้วัตถุของกล้องจุลทรรศน์ (Objective lens)

เลนส์ใกล้วัตถุที่ใช้จะต้องมีค่า Numerical aperture (NA) สูง (ประมาณ 0.8-1.4) ซึ่งทำให้สามารถรวมแสงได้ปริมาณมาก ส่งผลให้ Gradient force มีค่ามาก ทำให้สามารถ ดักจับสารตัวอย่างได้ในระบบคีมจับเชิงแสง (Optical tweezers)



รูปที่ 2.6 แสดงค่า Numerical aperture ที่แตกต่างกันของเลนส์ใกล้วัตถุ

2.2 Holographic

เทคโนโลยี ฮอโลกราฟี (Holography) หรือ ฮอโลแกรม (Hologram) เป็นเทคโนโลยีที่สร้างขึ้นในรูปแบบของภาพที่สร้างขึ้นให้ดูเหมือน มีความชัดลึกมีความนูนหลุดออกมาจากกรอบ เราจะเห็นฮอโลแกรมแบบนี้ได้จากบัตรเครดิต, รูปในวารสารชั้นนำหรือรูปภาพฮอโลแกรมที่ขายตามท้องตลาดทั่วไป เช่น รูปวิวทิวทัศน์, รูป ร.5 หรือรูปบุคคลสำคัญต่างๆ เป็นต้น แต่ยังไงเสียจะพบว่าฮอโลแกรมแบบนี้ถึงแม้จะให้ความรู้สึกที่นูนมีมิติ แต่ก็ยังไม่ลอรอบด้าน เป็น 3 มิติที่แท้จริง

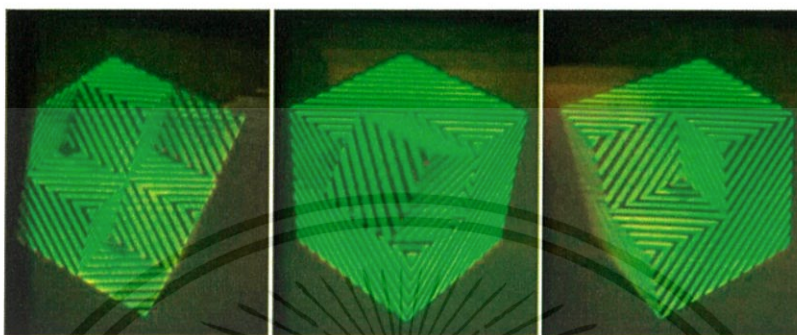
แนวคิดของ ฮอโลแกรม นั้นจริงๆแล้วไม่ใช่เป็นเพียงแค่ภาพฉากวงตาที่มีระยะชัดลึกข้างต้น แต่ยังมีหมายถึงแสง 3 มิติลอรอบด้านเสมือนจริงราวกับว่าวัตถุที่เราเห็นนั้นจับต้องโอบกอดได้ ที่เรียกว่า "3D Hologram" เช่น Iron Man พระเอกได้ใช้ Computer สร้างเกราะหุ่นยนต์ Iron Man ร่างสุดท้าย(ตัวสีแดง-ทอง) ซึ่งจะพบว่าจอคอมในหนังไม่ใช่คอมแบบที่เราใช้กันแต่เป็นจอแสง 3 มิติลอยอยู่ในอากาศ สั่งการแบบใช้เสียงพูดรวมทั้งใช้มือสัมผัสคลิกเมนูทำนองเดียวกับ Touch screen และภาพวัตถุจำลองส่วนประกอบหุ่นยนต์ที่ออกแบบก็เป็นลักษณะลำแสงฮอโลแกรมลอย ตัวในอากาศ หมุนได้รอบด้าน ซึ่งปัจจุบันได้มีการทดลองใช้จริงๆแล้ว

ฮอโลแกรมถูกสร้างขึ้นด้วยกระบวนการที่เรียกว่า ฮอโลกราฟี (Holography) โดยฮอโลกราฟีเป็นเทคนิคที่ช่วยให้แสงกระจายจากวัตถุที่จับกับและได้ถูกสร้างขึ้นใหม่ เพื่อให้ปรากฏเป็นวัตถุอยู่ในตำแหน่งเดิมเมื่อเทียบกับการบันทึก การเปลี่ยนแปลงรูปแบบตำแหน่งและทิศทางของระบบการมองเห็นเป็นไปอย่างถูกต้องเหมือนกับว่าวัตถุก็ยังคงเป็นปัจจุบันจึงทำให้ภาพที่บันทึกปรากฏเป็นสามมิติ ฮอโลแกรม 3 มิติ เป็นเทคโนโลยีรูปแบบหนึ่งที่ใช้เป็นเครื่องมือในการสื่อสารระยะไกลระหว่างบุคคลต้นทางและปลายทางที่อยู่ต่างสถานที่กัน สามารถโต้ตอบแบบตัวต่อตัว

ฮอโลแกรมแบ่งได้เป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 2 ประเภท คือ white-light hologram ซึ่งภาพฮอโลแกรมที่บันทึกนั้น สามารถมองเห็นได้ด้วยการส่องสว่าง ด้วยแสงสว่างจากธรรมชาติ และอีก

ประเภทหนึ่งคือ ภาพฮอโลแกรม ที่ต้องถูกส่องสว่างด้วยแสงเลเซอร์ หรือแสงที่มีสภาพหน้าคลื่น สอดคล้องกันในระดับหนึ่ง ถึงจะมองเห็นภาพ 3 มิติได้

นอกจากนี้ ยังอาจแบ่งฮอโลแกรมออกได้เป็น transmission hologram, reflection hologram, image-plane hologram, และอื่นๆ อีกหลายประเภท



รูปที่ 2.7 ภาพฮอโลแกรมชนิดที่สามารถมองเห็นได้ด้วยแสงขาว

2.2.1 ต้นกำเนิดของฮอโลแกรม

ฮอโลแกรม ได้ถูกคิดค้นขึ้นมาครั้งแรกในปี ค.ศ. 1948 โดย ดร.เดนนิส กาบอร์ (Dennis Gabor, 1900-1979) วิศวกรไฟฟ้าชาวฮังการี โดยกาบอร์ได้ค้นพบหลักการของฮอโลกราฟีโดยบังเอิญ ในระหว่างที่พัฒนาปรับปรุงคุณภาพของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่บริษัท British Thomson-Houston ที่เมือง Rugby ประเทศอังกฤษ จากการค้นพบนี้ กาบอร์ได้รับรางวัลโนเบล สาขาฟิสิกส์ ในปี ค.ศ. 1971

ต่อมาได้มีการพัฒนาและเริ่มนำมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย หลังจากที่ได้มีการคิดค้น เลเซอร์ขึ้นมาในปี ค.ศ. 1960 และได้มีการนำเอาเลเซอร์เข้ามาประยุกต์ใช้ ในปี ค.ศ. 1964 โดย นักวิทยาศาสตร์ชื่อ E.Leith และ J.Upatniks แห่งห้องปฏิบัติการทางเลเซอร์ มหาวิทยาลัยมิชิแกน ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ร่วมมือกันพัฒนาเทคโนโลยี Holography โดยใช้คุณสมบัติของแสงเลเซอร์ ทำให้สามารถแสดงรูปภาพ ที่มีความลึก ความกว้าง และเปลี่ยนแปลงได้ตามมุมมอง นับจากนั้นฮอโลแกรม ได้ถูกพัฒนาและประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง

ฮอโลแกรม เป็นภาพที่มีลักษณะ 3 มิติ ซึ่งแตกต่างจากภาพ 2 มิติ เช่น ภาพถ่าย ภาพวาด จอคอมพิวเตอร์ โทรทัศน์ เป็นต้น ภาพเหล่านี้จะเป็นภาพ 2 มิติ เมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดแสง ไปกระทบผิวของภาพถ่าย, ภาพวาด ก็จะสะท้อนกลับมายังที่ตา ทำให้มองเห็นภาพเป็น 2 มิติ

แต่ภาพฮอโลแกรมจะใช้หลักการสร้างภาพให้มีการแทรกสอดของแสงที่มากระทบรูปภาพ โดยการฉายแสงเลเซอร์จากแหล่งเดียวกัน แยกเป็น 2 ลำแสง ลำแสงหนึ่งเป็นลำแสงอ้างอิงเล็งตรงไปที่แผ่นฟิล์ม อีกลำแสงหนึ่งเล็งไปที่วัตถุและสะท้อนไปยังฟิล์ม แสงจากทั้งสองแหล่งจะถูกบันทึกไว้บนฟิล์มในรูปแบบของการแทรกสอด (Interference Pattern) ซึ่งมองไม่คล้ายกับรูปของวัตถุต้นแบบ ก่อให้เกิดภาพเสมือน (Virtual image) ขึ้นมาตามมุมของแสงที่มาตกกระทบ ทำให้ตาของเรารับแสง อีกด้านหนึ่งของแผ่น Hologram เกิดเห็นภาพ 3 มิติขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 การสร้างฮอโลแกรม

การบันทึกภาพ (recording of image) เป็นการบันทึกแถบการสอดแทรกเชิงซ้อน (Complex interference patterns) ซึ่งเกิดจากที่แต่ละแสงเลเซอร์ 2 ลำแสงซ้อนทับกันอยู่ (Superposition) แถบการสอดแทรกเชิงซ้อนนี้จะถูกบันทึกไว้บนฟิล์มถ่ายรูป (Photographic film) การสร้างภาพ (reconstruction of image) เป็นการสร้างภาพ 3 มิติ ขึ้นจากแผ่นฮอโลแกรม

2.2.3 การประยุกต์ใช้ฮอโลแกรม

1. ใช้ในการสื่อสารทางไกล งานบันเทิง



รูปที่ 2.8 ภาพฮอโลแกรมของ michael jackson ที่กำลังแสดงคอนเสิร์ต

2. จัดแสดงสินค้า



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างการสร้างภาพ 3D จากผลิตภัณฑ์ ที่ใช้ชื่อว่า Holus

3. เสริมสร้างความปลอดภัย

Transmission Hologram นำมาใช้กับบัตรประชาชน ใบอนุญาตขับขี่ พาสปอร์ต บัตรเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครดิต เป็นต้น ตัว Hologram ชนิดนี้จะทำออกมาจากโรงงานมีลักษณะคล้ายกระเป๋าใบเล็ก หรือซอง (Purse) นำบัตรหรือวัสดุที่ต้องการทำมาสอดใส่ตรงกลางช่องว่าง นำไปรีดที่เครื่องจักรโดยใช้ความร้อนและแรงกดจาก บน ล่าง แผ่น Hologram ก็จะติดแนบกับบัตร Reflection Hologram จะอยู่ในรูปของ Foil

Hologram Sticker แกะลอกเป็นดวงติดบนวัสดุตามต้องการ

Hologram Hot Stamping Foil ติดโดยใช้ความร้อน และแรงกดสูง การทำงานคล้ายการปั๊มฟอล์ยเงิน/ทองลงบนสิ่งพิมพ์ทั่วไป



รูปที่ 2.10 แสดงภาพฮอโลกราฟฟิก ของธนบัตร ขนาด 100 ยูโร

4. บันทึกข้อมูล

ฮาร์ดดิสก์ที่ใช้หลักการฮอโลกราฟิกนั้น ด้วยขนาดเพียง 5 นิ้ว สามารถจุได้สูงถึง 125 กิกะไบต์ เป็นอย่างต่ำ และอาจไปถึง Terra Byte (1000GB) ส่วนความเร็วในการโอนถ่ายข้อมูลอยู่ที่ 30 เมกะไบต์ต่อวินาที

Holographic Data Storage Holographic Storage เป็นอุปกรณ์ที่ใช้แสงเลเซอร์เขียนข้อมูลลงไปบนเนื้อของวัตถุ ดังนั้นที่เห็นประโยชน์ได้อย่างชัดเจนคือ ปริมาณข้อมูลที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากมีพื้นที่ในการเขียนมากกว่าเดิมเมื่อเทียบกับการเขียนข้อมูลที่พื้นผิวระนาบ ถ้าจะเปรียบเทียบเป็นเชิงสมการจะเห็นว่าเมื่อใช้ Holographic Storage ปริมาณข้อมูลที่เขียนได้จะเป็นสัดส่วนกับกำลังสามของวัตถุ แต่ถ้าเป็นการเขียนข้อมูลบนพื้นผิวในแนวระนาบจะได้เพียงกำลังสอง ประโยชน์อย่างหนึ่งในการใช้แสงเลเซอร์คือความเร็วในการเข้าถึงข้อมูล เนื่องจากความเร็วของแสงเมื่อเปรียบเทียบการอุปกรณ์เครื่องกลที่ใช้เป็นหัวอ่านข้อมูลแตกต่างกันมาก นอกจากนี้ Holographic Storage สามารถสืบค้นข้อมูลโดยใช้ข้อมูลเป็นกุญแจในการค้นหา

นอกจากนี้ในขณะที่แม่เหล็กและออปติคอลลมีการจัดเก็บข้อมูลในแบบเชิงเส้น แต่การจัดเก็บแบบฮอโลแกรมนั้นมีความสามารถในการบันทึกและอ่านนับล้านบิตในแบบขนาน ทำให้อัตราการถ่ายโอนข้อมูลที่สูงกว่าการจัดเก็บแบบออปติคอลลในปัจจุบัน

กลไกการจัดเก็บข้อมูล ฮอโลแกรมจัดเก็บข้อมูลโดยใช้รูปแบบการแทรกแซงของแสงภายในความหนาของวัสดุไวแสง แสงจากลำแสงเลเซอร์เดี่ยวแบ่งออกเป็นสองเส้นที่แยกจากกันของจุดมืดและจุดสว่าง โดยการปรับมุมลำแสงอ้างอิงความยาวคลื่นหรือตำแหน่งของสื่อ

กลไกการอ่านข้อมูล ข้อมูลที่เก็บไว้จะถูกอ่านผ่านการทำสำเนาของลำแสงอ้างอิงเดียวกับที่ใช้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการสร้างฮอโลแกรม ลำแสงอ้างอิงรวมแสงบนวัสดุที่ไวแสง รูปแบบการแทรกแซงที่เหมาะสมทำให้แสงแตกกระจายเมื่อผ่านช่องรับแสงหรือสิ่งกีดขวางลงบนเครื่องตรวจจับ โดยเครื่องตรวจจับมีความสามารถในการอ่านข้อมูลในแบบคู่ขนานมากกว่าหนึ่งล้านบิตในครั้งเดียว ให้ผลในการถ่ายโอนข้อมูลที่รวดเร็ว ไฟล์ในโทรศัพท์ฮอโลแกรมสามารถเข้าถึงได้ในเวลาน้อยกว่า 200 มิลลิวินาที

อายุการใช้งาน ฮอโลแกรมช่วยให้หลายๆ บริษัทมีวิธีการที่จะรักษาและเก็บข้อมูลโดยใช้วิธีการเขียนครั้งเดียวแต่อ่านได้หลายครั้ง (Write Once Read Many: WORM) เพื่อการจัดเก็บข้อมูลที่มั่นใจได้ในความปลอดภัยของเนื้อหา มีการป้องกันไม่ให้ข้อมูลถูกเขียนทับหรือแก้ไข ผู้ผลิตเชื่อว่าเทคโนโลยีนี้สามารถให้การจัดเก็บที่ปลอดภัยสำหรับเนื้อหาที่ไม่มีการย่อยสลายนานกว่า 50 ปี นานกว่าตัวเลือกการจัดเก็บในปัจจุบัน เป็นการโต้ตอบข้อเรียกร้องถึงวิวัฒนาการของเทคโนโลยีการอ่านข้อมูลที่มีในสองทศวรรษที่ผ่านมา ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงทุกสิบปี หากแนวโน้มนี้ยังคงมีต่อไป จะทำให้สื่อบันทึกมีความสามารถในการจัดเก็บข้อมูล 50-100 ปีในรูปแบบเดียวที่ไม่สัมพันธ์กัน เพราะคุณจะไม่ย้ายข้อมูลไปยังรูปแบบใหม่หลังจากนั้นเพียงสิบปี

อย่างไรก็ตาม ความยืดหยุ่นของการจัดเก็บข้อมูลในอดีตพิสูจน์แล้วว่าเป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญของความน่าเชื่อถือระยะสั้นของสื่อเก็บข้อมูล ซึ่งรูปแบบการจัดเก็บแบบฮาร์ดดิสก์ในปัจจุบัน เช่น ซีดี มีการพิสูจน์แล้วว่าจะสร้างความน่าเชื่อถือระยะสั้นได้มากกว่า Floppy Disc

2.2.4 ลักษณะเฉพาะทางด้านเทคนิค

เหมือนกับสื่อบันทึกชนิดอื่นๆ ฮอโลแกรมถูกแบ่งออกเป็นแบบเขียนครั้งเดียว (เปลี่ยนแปลงบางอย่างกลับไม่ได้) และแบบที่เขียนทับได้ (การเปลี่ยนแปลงที่สามารถย้อนกลับได้) การจัดเก็บแบบฮอโลแกรมที่สามารถเขียนทับได้สามารถทำได้ผ่านทางผลึกที่มีความไวแสง โดยเมื่อข้อมูลจะถูกดึงหรืออ่านออกมาจากฮอโลแกรม มีเพียงลำแสงอ้างอิงเท่านั้นที่เป็นสิ่งจำเป็น ลำแสงจะถูกส่งเข้าไปในวัสดุในทางเดียวกับตอนที่เขียน และแยกออกเป็นสองส่วน ส่วนหนึ่งจะสร้างลำแสงสัญญาณในส่วนที่ข้อมูลถูกเก็บไว้

ฮอโลแกรมสามารถให้เหตุผลในการเก็บหนึ่งบิตต่อลูกบาศก์ของขนาดความยาวคลื่นของแสงในการเขียน ตัวอย่างเช่น แสงจากเลเซอร์ฮีเลียมนีออน เป็นแสงสีแดงที่มีความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร การใช้แสงที่มีความยาวคลื่นระดับนี้จะจัดเก็บฮอโลแกรมที่สมบูรณ์แบบถึง 4 กิกะบิตต่อลูกบาศก์มิลลิเมตรเลยทีเดียว ในทางปฏิบัติความหนาแน่นของข้อมูลจะต่ำกว่ามากสำหรับอย่างน้อยสี่เหตุผลต่อไปนี้

1. ความจำเป็นในการเพิ่มแก้ไขข้อผิดพลาด
2. ความจำเป็นที่จะรองรับความไม่สมบูรณ์หรือข้อจำกัดในการจัดเก็บแบบฮาร์ดดิสก์
3. ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ (ความหนาแน่นสูงขึ้นอาจเสียค่าใช้จ่ายเกินกว่าที่จะได้รับ)
4. ข้อจำกัดด้านเทคนิคการออกแบบ ปัญหาที่พบในขณะนี้ คือ ในฮาร์ดดิสก์แบบแม่เหล็ก

นั้นมีการกำหนดค่าโดเมนที่จะช่วยป้องกันการผลิตดิสก์ที่ใช้ประโยชน์จากข้อจำกัดทางทฤษฎีของเทคโนโลยีอย่างเต็มที่

แม้จะมีข้อจำกัดเหล่านั้น แต่ก็เป็นไปได้ที่จะเพิ่มประสิทธิภาพความจุในการใช้ทุกเทคนิคการประมวลผลสัญญาณแสง ซึ่งแตกต่างจากเทคโนโลยีการจัดเก็บในปัจจุบันที่บันทึกและอ่านข้อมูลที่ละหนึ่งบิต ในขณะที่หน่วยความจำฮอโลแกรมเขียนและอ่านข้อมูลในแบบขนานในแฟลชเดียวของแสง นอกจากนี้ Hologram มีการเข้ารหัสและการประมวลผลสัญญาณในระบบจัดเก็บข้อมูล ซึ่งจะทำให้ลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราความผิดพลาดของข้อมูลเพื่อเพิ่มความหนาแน่นของข้อมูล และทำให้ส่งข้อมูลได้ดีขึ้น การเข้ารหัสและการประมวลสัญญาณสามารถที่จะผนวกเข้าไปด้วย เช่นแทรกเข้าไป หรือผนวกไปกับรหัสที่ใช้แก้ไขความผิดพลาด (Error-correction-code (ECC)) โดย ECC จะทำให้ข้อมูลมีความซ้ำซ้อนมากขึ้น เพื่อป้องกันข้อมูลจากสิ่งรบกวนต่าง ๆ เมื่อถูกเข้ารหัส ECC แล้วจะส่งข้อมูลไปที่ Modulation Encoder เพื่อปรับสัญญาณข้อมูลก่อนส่งไปที่ channel

2.2.5 ข้อแตกต่างจากเทคโนโลยีการเก็บข้อมูลแบบเดิม

Holographic data storage มีคุณสมบัติเฉพาะตัวที่แตกต่างกันออกไปจากเทคโนโลยีการเก็บข้อมูลแบบเดิมที่มีอยู่แล้วดังนี้

สามารถบันทึกข้อมูลในความหนาแน่นที่มากกว่า

สามารถขนถ่ายข้อมูลในความเร็วที่มากกว่าสื่อแบบแถบแม่เหล็ก

ความหนาแน่นของข้อมูลจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์ เช่น CD-Rom ที่ความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกำลังสองกับความยาวคลื่น โฮโลกราฟเป็นเทคนิคที่เขียนข้อมูลลงไปบนเนื้อวัสดุสามารถเพิ่มได้เป็นสัดส่วนกำลังสามของความยาวคลื่น

แต่อย่างไรก็ตาม Holographic data storage ยังมีราคาขึ้นส่วนต่าง ๆ รวมทั้งค่าประกอบตามเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นมานั้นยังแพงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับฮาร์ดดิสก์แม่เหล็กที่รู้จักกันว่าเป็นอุปกรณ์เก็บข้อมูลแบบเข้าถึงโดยตรงในปัจจุบัน

2.3 โปรแกรมแมทแลป (Matlab)

แมทแลป (Matlab) เป็นโปรแกรมสำหรับการคำนวณเชิงตัวเลขและ Visualization ที่มีประสิทธิภาพสูงชื่อของโปรแกรม “Matlab” ย่อมาจากคำเต็มว่า MATrix LABoratory และเป็นเครื่องหมายการค้าของบริษัทMathWorks ซึ่งการทำงานภายในโปรแกรม Matlab อยู่บนพื้นฐานของการคำนวณทางเมตริกซ์ (Matrix Manipulation and Computation) เป็นแกนหลักโปรแกรม Matlab สามารถทำงานแบบโต้ตอบ (interactive) ซึ่งคล้ายๆกับภาษา Basic ในโปรแกรม QBasic และแบบ compiled mode คล้ายๆกับภาษา C และ Pascal นอกจากนี้เราสามารถใช่ Matlab เป็นเสมือนเครื่องคิดเลขทำการคำนวณทางคณิตศาสตร์ได้ทันทีการเขียนโปรแกรม Matlab สามารถทำได้ง่ายเมื่อเทียบกับภาษาโปรแกรมอื่นๆเราสามารถสร้างและกำหนดค่าตัวแปรได้ทันทีโดยไม่ต้องประกาศตัวแปรก่อนซึ่งสะดวกในการเขียนโปรแกรมเพราะผู้ใช้ไม่ต้องกังวลในเรื่องโครงสร้างของภาษาเช่นในเรื่องการต้องประกาศตัวแปรก่อนใช้งานแต่มาสนใจอัลกอริทึมในการแก้โจทย์ปัญหาเป็นหลักข้อมูลไม่ว่าจะเป็นตัวเลขหรือตัวอักษร (strings) จะถูกจัดเก็บในรูปแบบของแถวและหลักหรือ array ซึ่งก็คือ matrix นั่นเองเช่นจำนวนสเกลลาร์ (scalar) จะถูกแทนด้วยเมตริกซ์ขนาด 1x1 ข้อมูลที่เป็นเวกเตอร์จะถูกแทนที่ด้วยเมตริกซ์ที่มีเพียง 1 แถวในกรณีที่เป็นเวกเตอร์แบบแถว (Row vector) หรือถูกแทนที่ด้วยเมตริกซ์ที่มีเพียง 1 หลักในกรณีที่เป็นเวกเตอร์แบบหลัก (Column vector) เป็นต้นการที่ Matlab ถูกออกแบบมาให้มีการทำงานภายในเช่นนี้ทำให้การเขียนโปรแกรมแก้โจทย์ปัญหาที่มีลักษณะของ vector และ matrix เป็นเรื่องง่ายตัวอย่างเช่นการแก้ระบบสมการเชิงเส้นซึ่งระบบสมการสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบ $[A]\{x\} = \{b\}$ ได้เป็นต้น

ซึ่งสามารถสรุปความสามารถของโปรแกรม Matlab เบื้องต้นดังนี้

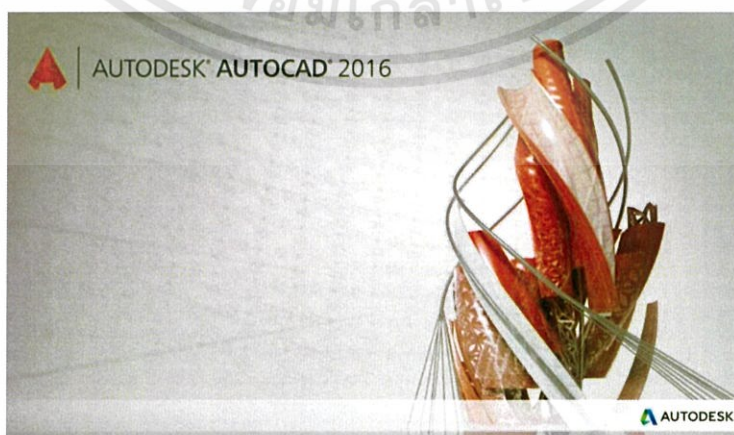
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Matlab เป็นโปรแกรมเพื่อการคำนวณและแสดงผลได้ทั้งตัวเลขและรูปภาพซึ่งมีประสิทธิภาพสูงสามารถทำการเขียนกราฟทั้ง 2 มิติและ 3 มิติได้อย่างง่ายดายและมีประสิทธิภาพ
- เราสามารถควบคุมการทำงานของ Matlab ด้วยชุดคำสั่ง (command line) และยังสามารถรวบรวมชุดคำสั่งเป็นโปรแกรม (script file) ได้ด้วย
- ลักษณะการเขียนโปรแกรมใน Matlab จะใกล้เคียงการเขียนสมการคณิตศาสตร์ที่เราคุ้นเคยจึงง่ายกว่าการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาชั้นสูงเช่นภาษา C, Pascal, Fortran และอื่นๆ
- Matlab มีฟังก์ชันสำเร็จรูป (built-in function) เพื่อทำงานเฉพาะทางมากมายนอกจากนี้ผู้ใช้อาจเขียนฟังก์ชันขึ้นมาใหม่โดยใช้ประโยชน์จากฟังก์ชันที่มีอยู่เดิมได้เพื่อให้เหมาะสมกับงานของผู้ใช้แต่ละกลุ่มสำหรับผู้ใช้ที่ต้องการใช้งานเฉพาะทางขั้นสูงเช่นงานด้าน Control, Image Processing, Artificial NeuralNetwork หรืออื่นๆ Matlab ก็มี toolbox หรือชุด function พิเศษเพื่อทำงานเฉพาะทางนั้นๆด้วย
- Matlab สามารถเชื่อมโยงหรือส่งข้อมูลแบบ Dynamic Link กับโปรแกรมอื่นๆได้เช่น Excel หรือโปรแกรมที่เขียนขึ้นเองจากภาษา C หรือ Visual Basic ที่ร่วมทำงานอยู่บนระบบปฏิบัติการ Windows



รูปที่ 2.11 แสดงภาพโปรแกรม Matlab

2.4 AutoCAD



รูปที่ 2.12 โปรแกรม AutoCAD 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในอุตสาหกรรมการผลิตในปัจจุบันมีการแข่งขันที่สูงไม่ว่าจะเป็นในด้านของคุณภาพ ราคา และความรวดเร็วของการตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคและการเปลี่ยนแปลงของตลาด ทำให้ผู้ผลิตและบริษัทต่างๆ ต่างต้องพากันพัฒนารูปแบบการผลิตให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคและการเปลี่ยนแปลงของตลาดตามกล่าวไปแล้วให้ได้ เนื่องจากการพัฒนาอย่างต่อเนื่องของเทคโนโลยีการผลิตแบบอัตโนมัติและการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการผลิต ทำให้ทุกวันนี้เราสามารถผลิตงานที่มีความละเอียดและความเที่ยงตรงสูง นอกจากนี้ยังสามารถลดเวลาในการผลิตลงได้ รวมทั้งยังสามารถลดต้นทุนในการผลิตลง และเทคโนโลยีที่เข้ามามีบทบาทอย่างยิ่งในกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตต่างๆคือ CAD/CAM/CAE และ CNC วันนี้เราจะมาแนะนำและทำความรู้จักกับโปรแกรมที่เรียกว่า CAD กันก่อนว่ามันคืออะไร CAD คืออะไร

CAD เป็นคำย่อของ Computer Aided Design ซึ่งแปลเป็นภาษาไทยว่า คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ เทคโนโลยีนี้คือการนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการสร้างชิ้นส่วนหรือ Part ด้วยแบบจำลองทางเรขาคณิต (Geometry) ชิ้นส่วนที่ถูกสร้างขึ้นมาเรียกว่าแบบจำลองหรือ Model และแบบจำลองนี้ก็สามารถแสดงเป็นแบบ Drawing หรือไฟล์ข้อมูล CAD การนำ CAD software ไปใช้ประโยชน์

สร้างแบบจำลองหรือ model ขึ้นตามแบบที่ได้ทำการออกแบบ

วิเคราะห์ ประเมินและแก้ไขข้อมูล CAD ของ Part ที่ได้ทำการออกแบบไว้เพื่อให้สามารถทำการผลิตได้จริงในการผลิตและมี function การทำงานตามแต่ละวัตถุประสงค์ของ Part นั้นๆ

ใช้เป็นข้อมูลในการผลิต jig, fixture และเครื่องมืออื่นๆ สำหรับใช้ในขั้นตอนการผลิต การใช้ CAD ในการสร้างรูปร่างต่างๆของ Part สามารถทำได้ 3 ลักษณะ คือ ปริมาตรตัน (Solid modeling), พื้นผิว (Surface modeling) และโครงลวด (Wire frame modeling) ซึ่งแต่ละแบบจะเหมาะสมกับการทำงานเฉพาะอย่าง

Surface modeling

การแสดงผลแบบนี้จะคล้ายกับการนำผืนผ้าสีเหลี่ยมซึ่งถือเป็น 1 ผิวหน้า (face) มาเย็บต่อ ๆ กัน จะได้เป็นพื้นผิว (surface) บาง คล้ายเปลือกนอก การเก็บข้อมูลแบบนี้จะเก็บข้อมูล เส้นขอบ พิกัดของจุด และข้อมูลของขอบผิวที่ติดกัน



รูปที่ 2.13 แสดงถึงการออกแบบแบบ Surface modeling

Solid Modeling

ข้อมูลแบบจำลอง 3 มิติ แบบนี้จะถูกเก็บในลักษณะของ ลำดับของการนำรูปทรงตันพื้นฐาน (Solid Primitives) เช่น ก้อนลูกบาศก์, ลูกกลม, ทรงกระบอก, ลิ้ม, พีรามิด ฯลฯ มาสร้างความสัมพันธ์กัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

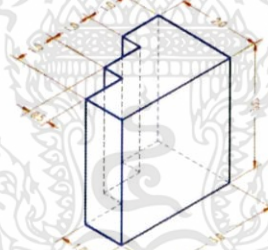
ด้วย Boolean Operator เช่น union (รวมกัน), subtract (ลบออก), intersection (เฉพาะส่วนที่ซ้อนทับกัน) และ difference (เฉพาะส่วนที่ไม่ทับกัน) เพื่อให้ได้รูปทรงที่ต้องการ รูปทรงที่ใช้วิธีนี้สร้างจะมีความถูกต้องสูง เนื่องจากใช้วิธีการทำ Boolean Operation เท่านั้นซึ่งเป็นวิธีที่ธรรมดาและโครงสร้างของข้อมูลก็ไม่ซับซ้อน



รูปที่ 2.14 แสดงถึงการออกแบบแบบ Solid modeling

Wire-frame modeling

การแสดงผลแบบนี้มักจะพบในซอฟต์แวร์รุ่นเก่าๆ ซึ่งจะเก็บข้อมูลของแบบจำลองเฉพาะ เส้นขอบ (ทั้งเส้นตรงและเส้นโค้ง) และพิกัดของจุด การแสดงผลแบบนี้ทำได้รวดเร็ว แต่ภาพที่ได้จะดูค่อนข้างยาก ว่าแสดงผลอยู่ในมุมมองใด



รูปที่ 2.15 แสดงถึงการออกแบบแบบ Wire-frame modeling

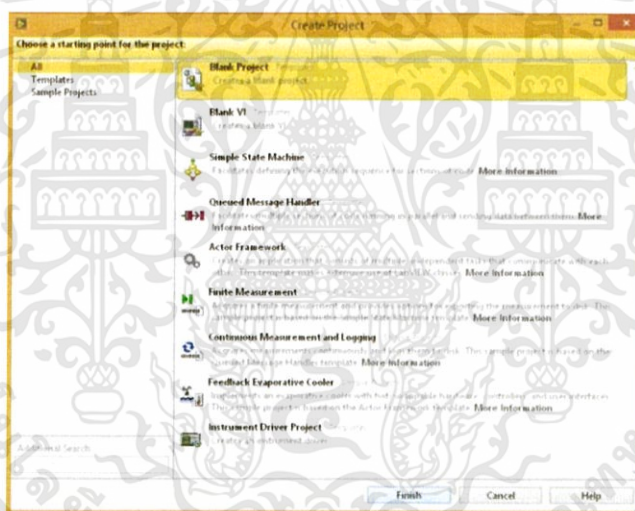
2.5 LabVIEW

LabVIEW เป็นโปรแกรมที่ใช้ติดต่อสื่อสารกับเครื่องมือต่างๆ ที่อยู่ภายนอกผ่านบอร์ด Data Acquisition ใช้งานเป็น monitoring หรือในการควบคุมการวัดค่าต่างๆ เช่น strain อุณหภูมิ หรือสัญญาณอื่นๆ โดยมีตัวเซนเซอร์รับสัญญาณเข้ามา โดยเอาต์พุตที่ได้จากเซนเซอร์เหล่านี้จะมีค่าเป็นแรงดันหรือกระแสซึ่ง LabVIEW สามารถอ่านค่าที่ผ่านเข้ามาทางDAQ Card แล้วบันทึกค่าเป็นไฟล์ข้อมูลได้ ดังนั้นการนำ LabVIEW ไปใช้จะต้องพิจารณาถึงวัตถุประสงค์และ application ที่จะใช้ก่อนว่ามี input เป็นอะไร และต้องการ output อะไร จากนั้นจึงทำการเลือก hardware ให้ตรงตามต้องการ - การใช้งาน LabVIEW ผู้ใช้ควรมีพื้นฐานด้านการเขียนโปรแกรมพอสมควร เนื่องจากการติดต่อสื่อสารระหว่างโปรแกรมกับเครื่องมือต่างๆ ที่อยู่ภายนอกนั้น ผู้ใช้ต้องเขียนโปรแกรมคำสั่งการทำงานเพื่อเรียกข้อมูลการวัดแล้วนำมา process ให้เป็น monitoring หรือการเขียนคำสั่งเพื่อการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมระบบเช่น ให้โปรแกรมสามารถตรวจสอบค่า Strain ที่อ่านได้ว่าถ้ามีค่าไม่เกินกว่าที่กำหนด แล้วจึงค่อยส่งคำสั่งไปควบคุมให้อุปกรณ์อื่นๆ ทำงานต่อไปได้ เป็นต้น



รูปที่ 2.16 โปรแกรม แลบริว (LabVIEW) 2015



รูปที่ 2.17 หน้า Create Project

โปรแกรม LabVIEW มีองค์ประกอบสำคัญ3 ส่วน คือ

1. Front panel เป็นส่วนตั้งค่าการวัดและอ่านค่าตัวเลขหรือกราฟที่ออกมาจากblock diagram จึงทำหน้าที่เสมือนเครื่องมือวัดจริงโดย inputที่ป้อนเข้าไปจะเป็นตัวควบคุม ส่วน output ที่ออกมาจะเป็นตัวแสดงผล
2. Block diagram ทำหน้าที่เสมือนเป็น Sourcecode โดยใช้โปรแกรมภาษากราฟฟิก องค์ประกอบของ block diagram นี้จะแทนโปรแกรม Node เช่น for loop, casestructure และฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ เป็นต้น
3. Icon/Connector ภายใน Front panel จะประกอบด้วย icon ต่างๆและมีสายเชื่อมต่อถึงกันในแต่ละ icon ซึ่งเมื่อเชื่อมต่อกันแล้ว จะสามารถเปลี่ยน Virtual instrument (VI) นี้ให้เป็น Sub VI หรือ Objectที่น่ากลับมาใช้ใน block diagram ได้อีก

ความสามารถของโปรแกรม LabVIEW เนื่องจากบริษัท National Instrument (NI) ซึ่งเป็นผู้พัฒนาโปรแกรม LabVIEW มี Product ในการพัฒนาอยู่มากมายทั้ง Hardware และ Software จึงทำให้โปรแกรม LabVIEW มีความสามารถในการติดต่อ Hardware อย่างหลากหลายเช่น

Hardware

การใช้ โปรแกรม LabVIEW เพื่อเชื่อมต่อกับฮาร์ดแวร์ภายนอกทำได้โดยผ่านทางการ์ด DAQ (data acquisition) การเชื่อมต่อสามารถเชื่อมต่อกับพอร์ต (port) ได้หลายชนิด เช่น พอร์ตขนาน (parallel port), พอร์ตอนุกรม (serial port), GPIB, และ HPIB เป็นต้น จึงมีแนวความคิดในการออกแบบวงจรขึ้นมา โดยกำหนดคุณสมบัติให้เป็นบอร์ดแบบภายนอกเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม (RS-232) มีจำนวนอินพุต-เอาต์พุต 16 ช่อง (channel) อินพุตทำงานได้ทั้งหมด ดิจิตอลอินพุตและอนาล็อกอินพุต สำหรับเอาต์พุตกำหนด ให้เป็นแบบดิจิตอลเอาต์พุต ออกแบบให้สร้างง่ายและต้นทุนต้องไม่สูงมากจนเกินไป

Software

Protocol ต่างๆ ในทางอุตสาหกรรม LabVIEW ก็สามารถติดต่อสื่อสารได้รวมทั้ง PLC ยี่ห้อต่างๆ และงาน SCADA LabVIEW ก็สามารถทำได้เหมือนโปรแกรม SCADA ทั่วไป และบริษัท NI ยังมี PLC ของตนเองขายอีก

ความสามารถในการทำ Image Processing ก็ทำได้ไม่แพ้ Image Processing ในท้องตลาด สามารถติดต่อกับ Database มาตรฐานรวมทั้งการควบคุมการทำงานกับโปรแกรม MS-OFFICE และอื่นๆ ใน windows



รูปที่ 2.18 ลักษณะของ Function Palette และ Control Palette

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 วางแผนและออกแบบระบบงานวิจัย

3.1.1 ออกแบบระบบการทำงานของ Optical systems

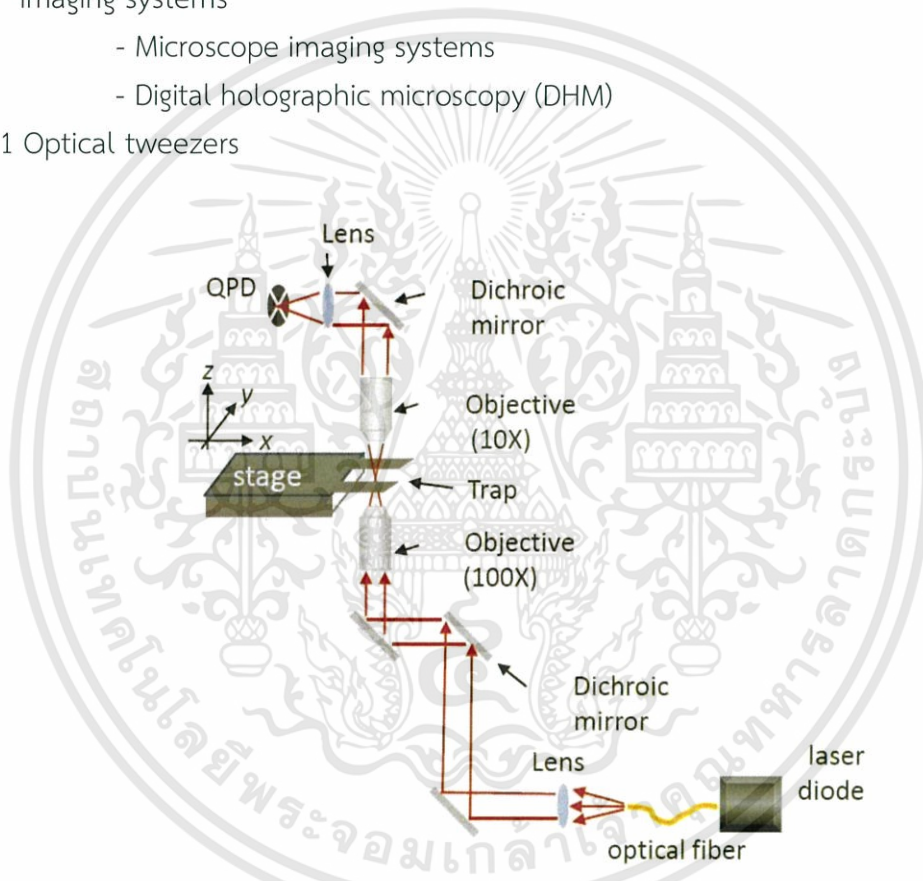
Optical trapping

- Optical tweezers

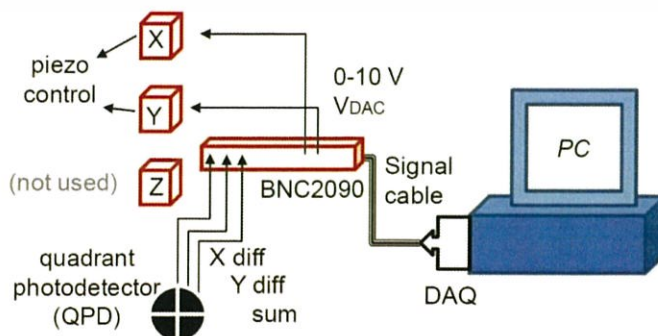
Imaging systems

- Microscope imaging systems
- Digital holographic microscopy (DHM)

ส่วนที่ 1 Optical tweezers



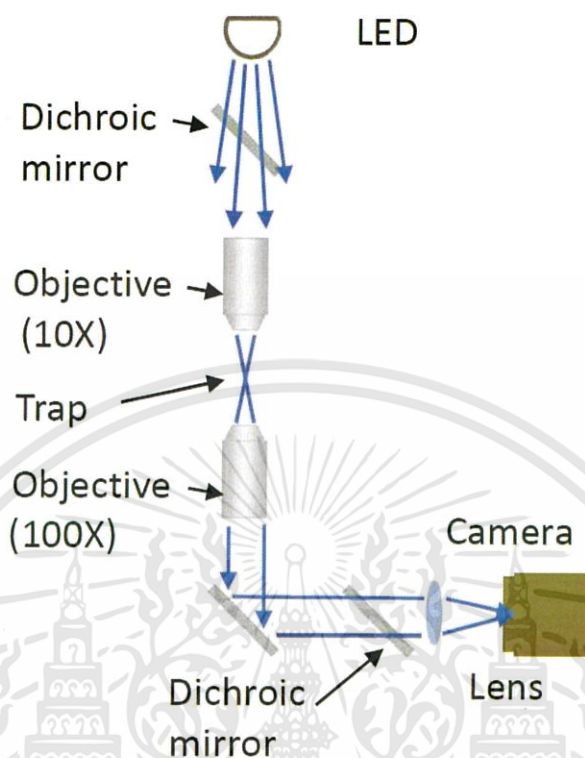
รูปที่ 3.1 ระบบคีมจับเชิงแสง



รูปที่ 3.2 แสดงถึงระบบแทนเลื่อน x y ซึ่งมี QPD เป็นตัวตรวจจับ

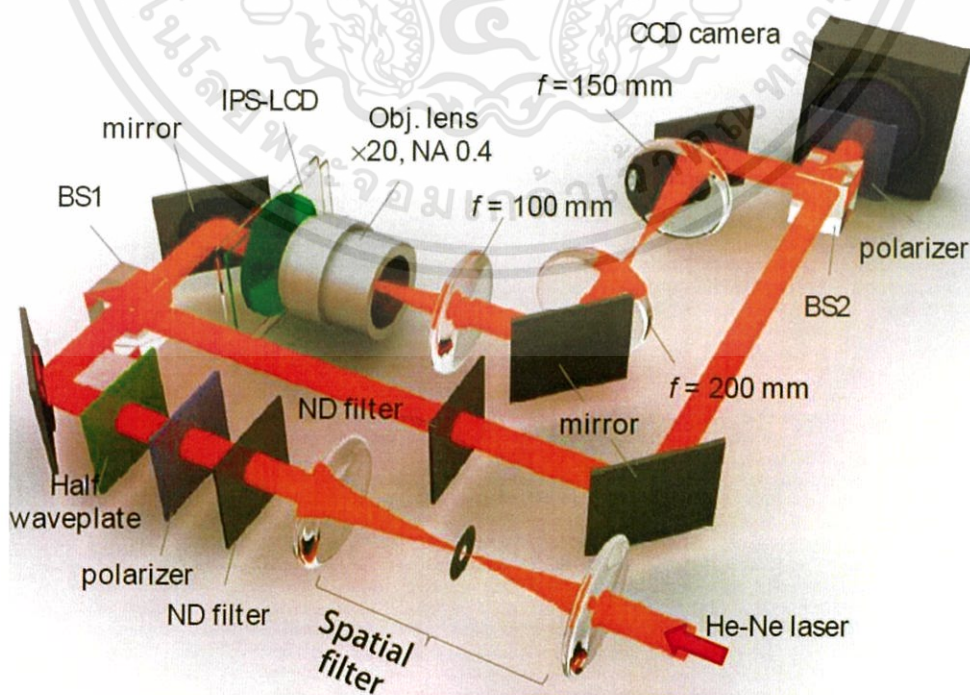
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือทรัพย์สินทางปัญญาอื่นใด ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 2 Microscope imaging systems



รูปที่ 3.3 ระบบการจับภาพที่ใช้หลักการเดียวกันกับระบบภาพจากกล้องจุลทรรศน์

ส่วนที่ 3 Digital holographic microscopy (DHM)

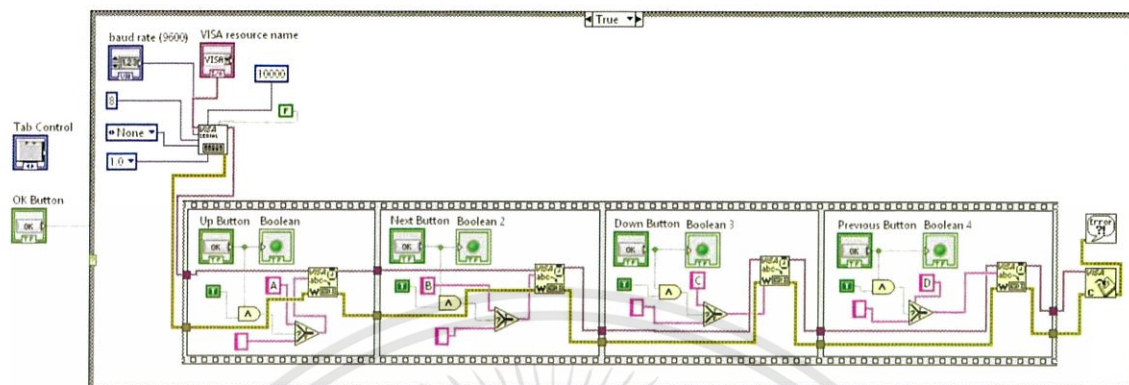


รูปที่ 3.4 ระบบภาพแบบ Digital holographic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

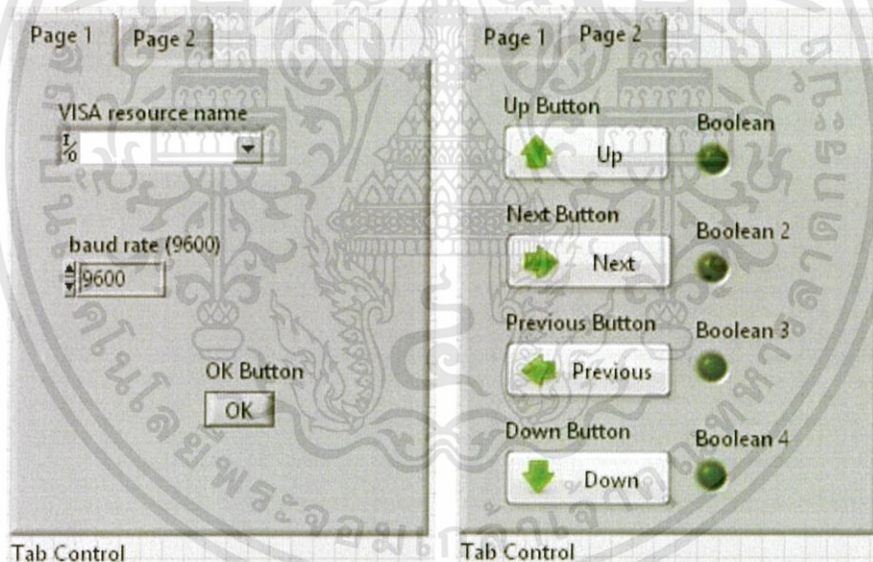
3.1.2 ออกแบบโปรแกรม LabVIEW เพื่อใช้ควบคุม stage motor

ส่วนที่ 1



รูปที่ 3.5 Block Diagram สำหรับเคลื่อนที่ Stage motor ใน Function Palette

ส่วนที่ 2



ก)

ข)

รูปที่ 3.6 ก) แสดง Block control สำหรับเชื่อมต่อระหว่าง โปรแกรม แลปวิว กับคอมพิวเตอร์ ที่ VISA resource name และสำหรับควบคุมการทำงานของสเต็ปปีงมอเตอร์, ข) แสดง Block control สำหรับควบคุมการทำงานของสเต็ปปีงมอเตอร์

3.1.3 ออกแบบฐานวางสำหรับเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน

ทำการออกแบบ โดยใช้โปรแกรม AutoCAD 2016 มาช่วยในการออกแบบฐานวางเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน

ส่วนที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

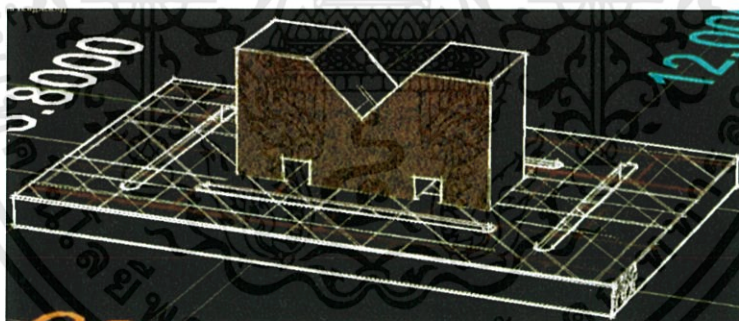
ก้อนอะคริลิกที่ทางเราจัดหาได้ เพื่อนำมาใช้ออกแบบเป็นฐานวางเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน มี
ขนาด 10.75x3.8x5.25 cm



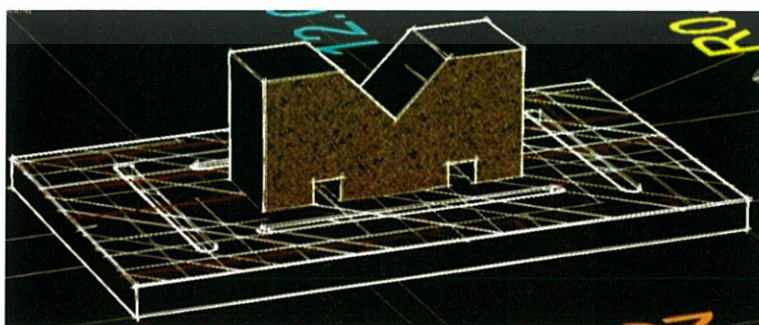
รูปที่ 3.7 ก้อนอะคริลิก ขนาด 10.75x3.8x5.25 cm

ส่วนที่ 2

ทำการออกแบบ ฐานวางเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน ตามขนาดของก้อนอะคริลิกที่มีอยู่ด้วย
โปรแกรม AutoCAD 2016



รูปที่ 3.8 ฐานของเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน ที่ทำการออกแบบในโปรแกรม AutoCAD 2016 (มุมมอง
ด้านขวา)



รูปที่ 3.9 ฐานของเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน ที่ทำการออกแบบในโปรแกรม AutoCAD 2016 (มุมมอง
ด้านซ้าย)
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 จัดหาอุปกรณ์สำหรับ Optical systems

3.2.1 แหล่งกำเนิดแสง

ส่วนที่ 1



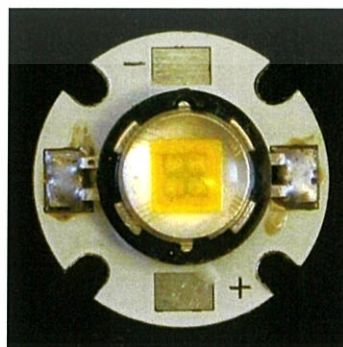
รูปที่ 3.10 เลเซอร์ไดโอด 4.5 มิลลิวัตต์ ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร และอุปกรณ์สำหรับเลเซอร์ไดโอด

ส่วนที่ 2



รูปที่ 3.11 เลเซอร์ฮีเลียมนีออน 20 มิลลิวัตต์ ที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร และ Power supply

ส่วนที่ 3

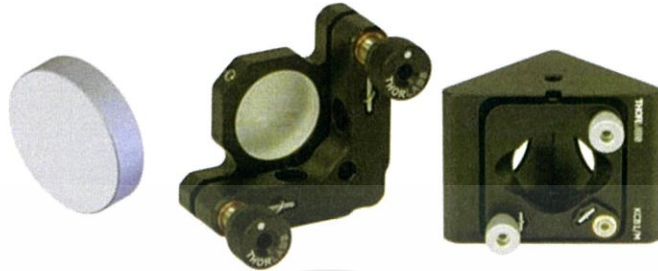


รูปที่ 3.12 Super bright LEDs 10 วัตต์ ความส่องสว่าง 900 ลูเมน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ระบบการทดลองทางแสง

ส่วนที่ 1



รูปที่ 3.13 กระจกที่สามารถสะท้อนในช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็นได้ และอุปกรณ์ต่างๆสำหรับกระจก

ส่วนที่ 2



รูปที่ 3.14 เลนส์นูนและเลนส์เว้าที่มีความยาวโฟกัสต่างๆ

ส่วนที่ 3



รูปที่ 3.15 ปีมสปริเตอร์แบบ 50:50 ทั้งแบบที่มีและไม่มีโพลาไรซ์

ส่วนที่ 4



รูปที่ 3.16 แสดงถึง Colored Glass Filter 350 - 700 nm, Shortpass Filter Cut-Off

Wavelength 600 nm และ Mount สำหรับ Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 5



รูปที่ 3.17 แสดงถึง quarter wave plate, half wave plate และ ND Filter

ส่วนที่ 6



รูปที่ 3.18 แผ่น Polarized และ Mounting ที่สามารถปรับมุมได้

ส่วนที่ 7



รูปที่ 3.19 Nikon Objective lens 100X/1.30 Oil

3.2.3 ระบบรับภาพ

ส่วนที่ 1



รูปที่ 3.20 Canon EOS 700D ความละเอียด 18.2 ล้านพิกเซล APS-C Hybrid CMOS sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการขงนเพื่อการค้าของเอกชน มิใช่ของสาธารณะหรือจะเอื้อให้เกิดการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 สร้างระบบตามการวางแผนและการออกแบบ

3.3.1 สร้างฐานของเสเชอร์ฮีเสียม-นีออน

ส่วนที่ 1

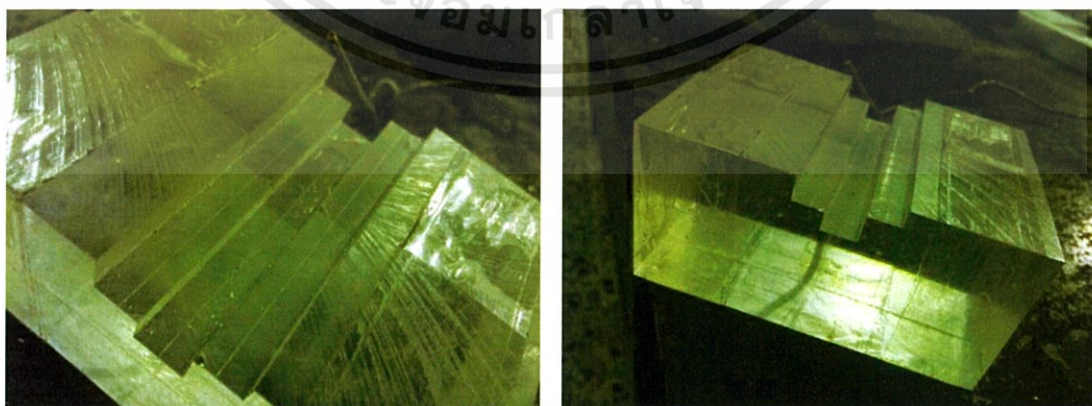
นำก้อนอะคริลิกทั้งสองก้อนมาติดเข้าด้วยกัน ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการกัดด้วยเครื่องกัดโลหะ เนื่องจากสามารถกัดได้เพียงครั้งเดียว ซึ่งง่ายกว่าการกัดทีละก้อน และนอกจากนั้น การกัดทั้งสองก้อนพร้อมกันทำให้ระยะที่กัด ขนาดต่างๆที่ทำการกัด มีรูปทรงเดียวกัน ทำให้เวลานำไปใช้อะคริลิกทั้งสองก้อน จะมีประสิทธิภาพเท่าๆกัน ทำให้ไม่ต้องนำก้อนใดก้อนหนึ่งมาทำการแก้หลังจากการกัด



รูปที่ 3.21 อะคริลิกสองก้อนซึ่งถูกติดด้วยเทปกาวใส

ส่วนที่ 2

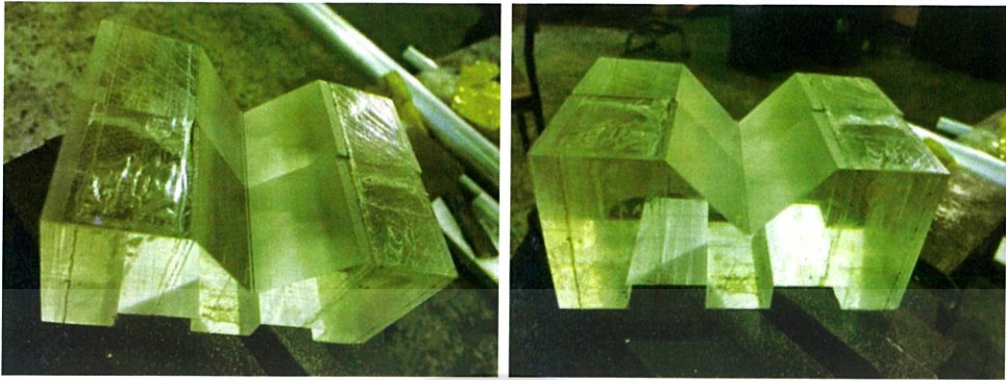
ในส่วนนี้จะต้องค่อยๆทำการกัดอะคริลิกเข้าไปทีละนิด เพื่อป้องกันไม่ให้อะคริลิกเกิดการแตกหัก เสียหาย



รูปที่ 3.22 ก้อนอะคริลิกทั้งสองก้อนที่ถูกติดด้วยเทปกาวใส ซึ่งอยู่ระหว่างการกัดเซาะให้เป็นรูปสามเหลี่ยมตามการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 3



รูปที่ 3.23 ก้อนอะคริลิกซึ่งถูกกัดเสร็จสิ้น จนมีลักษณะเป็นฐานวางเลเซอร์รูปตัว M

ส่วนที่ 4

หลังจากการกัดอะคริลิกทั้งสองก้อนเสร็จสิ้น เราจึงทำการแกะเทปกาวใสออกและนำอะคริลิกไปล้างทำความสะอาด



รูปที่ 3.24 แสดงถึงส่วนประกอบฐานของเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนทั้งหมด

ส่วนที่ 5

จากนั้นเราได้ทำการทดลองฐานวางเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนที่ทำขึ้นจะพบว่า ฐานเลเซอร์ที่ทำขึ้นนั้นสามารถเข้ากับโต๊ะทาง Optics และเลเซอร์ฮีเลียมนีออนได้อย่างดี โดยเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน แม้จะสามารถขยับได้แต่ก็ขยับได้เพียง เดินหน้าหรือถอยหลังเท่านั้น ซึ่งไม่มีผลกับการทดลองทางแสง เพราะแสงเลเซอร์ยังคงพุ่งออกไปในแนวเดิมเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



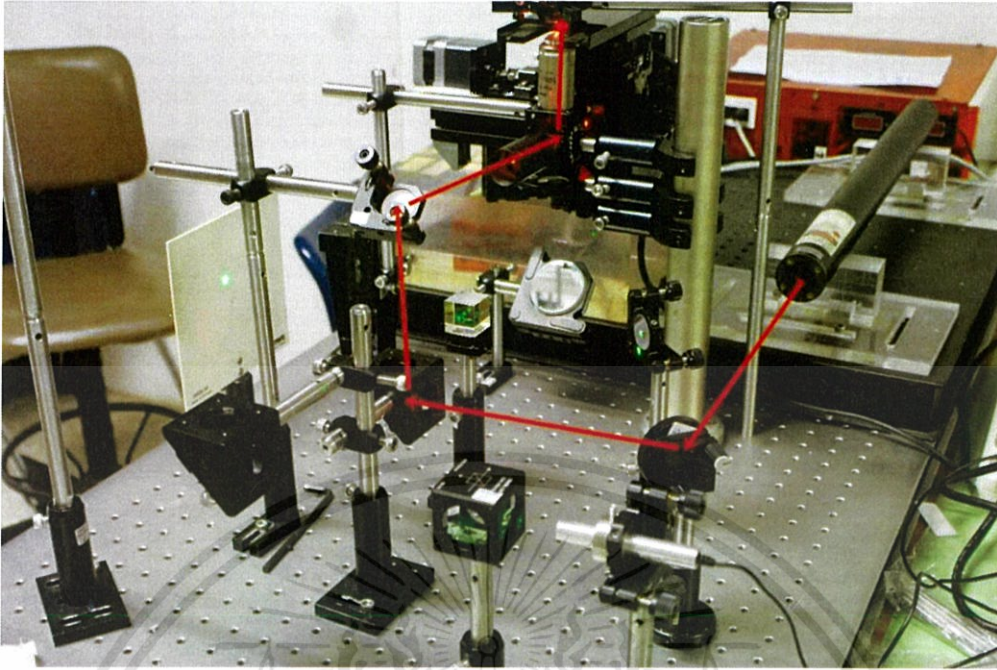
รูปที่ 3.25 เลเซอร์ฮีเลียม-นีออน บนฐานวางเลเซอร์รูปตัว M

3.3.2 สร้างระบบการทดลองทางแสง (Optical systems)

ส่วนที่ 1 Optical tweezers

1. ทำการติดตั้งเลเซอร์ ฮีเลียม-นีออน 20 mW บนฐานวางเลเซอร์รูปตัว M
2. เลเซอร์เคลื่อนที่ออกจากกระบอกเลเซอร์
3. เลเซอร์สะท้อนกระจกเพื่อปรับทิศทางตั้งฉากไปทางด้านขวาจากเลเซอร์
4. ต่อไปเลเซอร์จะสะท้อนกระจกขึ้นด้านบนเพื่อปรับความสูงให้ได้ระยะ
5. จากนั้นเลเซอร์จะสะท้อนกระจกเพื่อเข้าสู่ Beam expander
6. เลเซอร์พุ่งเข้าสู่ระบบ Beam expander เริ่มต้นที่ เลนส์เว้า ความยาวโฟกัส 25 เซนติเมตร เลเซอร์จะโฟกัสด้านหน้าเลนส์เว้า ที่ระยะ 25 เซนติเมตร และจะเดินทางเข้าสู่ เลนส์นูน ที่มีความยาวโฟกัส 75 เซนติเมตร และอยู่ห่างจากเลนส์เว้า 50 เซนติเมตร โดยประมาณ ลำแสงเลเซอร์หลังออกจากเลนส์นูนจะมีขนาด 5.4 เซนติเมตร ในทางทฤษฎี ถ้าขนาดของเลเซอร์เริ่มต้นคือ 1.8 เซนติเมตร
7. เลเซอร์จะเคลื่อนเข้าสู่ Beam splitter เพื่อหักเหแสงขึ้นด้านบน
8. เลเซอร์พุ่งเข้าสู่ Back aperture ของเลนส์ใกล้วัตถุ และทำการโฟกัสแสงเพื่อดักจับอนุภาค

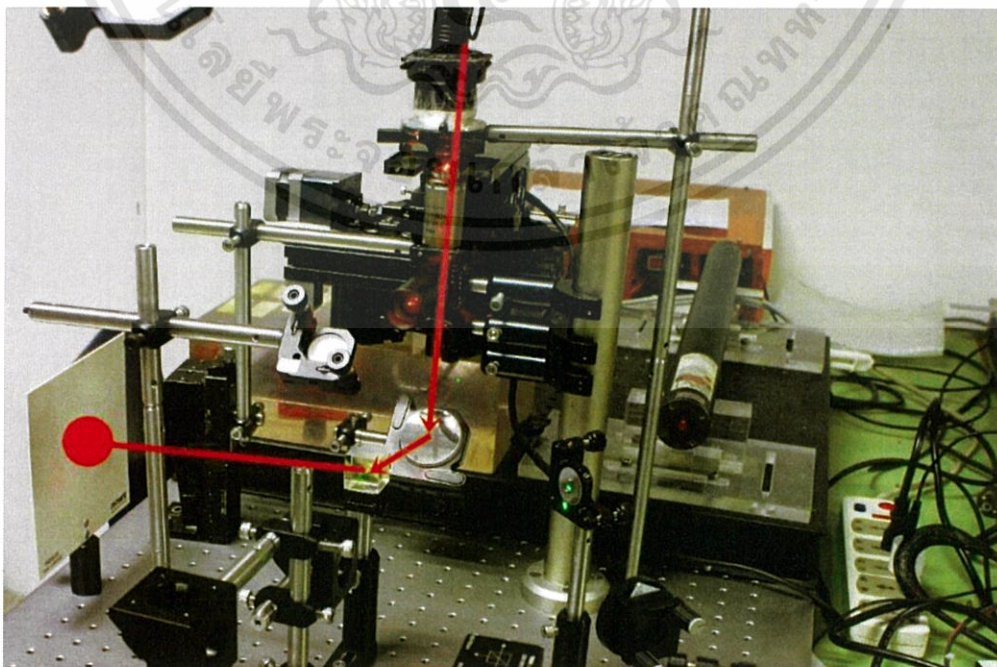
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 Optical tweezers systems

ส่วนที่ 2 Microscope imaging systems

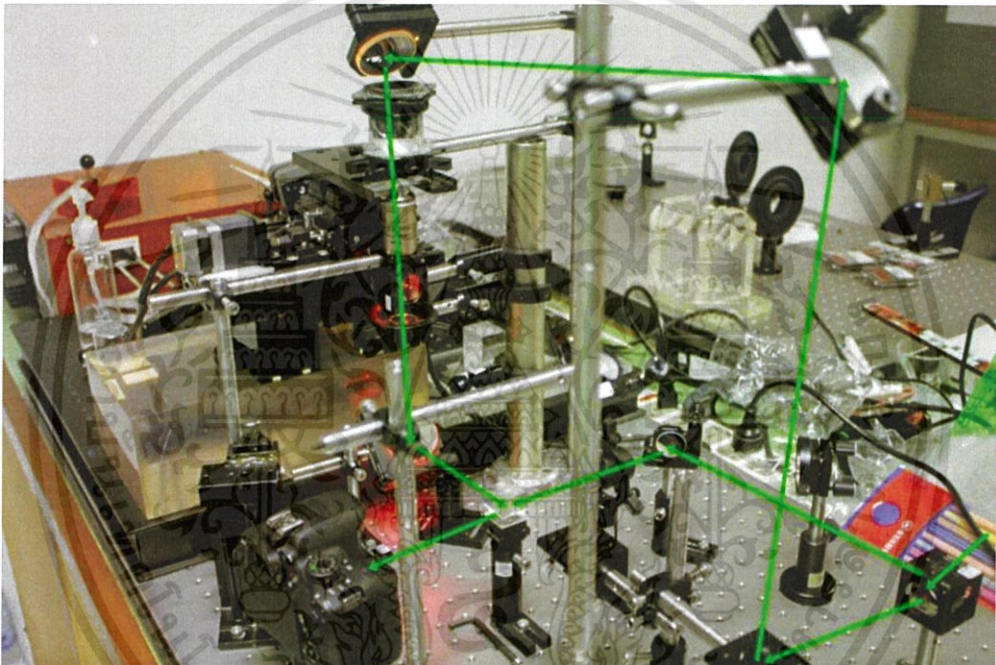
1. ทำการติดตั้งเลนส์รวมแสงด้านบนบน Stage X-Y
2. ทำการติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงทางด้านบนของเลนส์รวมแสง
3. ติดตั้งเลนส์รวมแสงด้านล่างของ Beam splitter เพื่อรวมแสงขาวที่ออกมาจาก Objective lens
4. ติดตั้งกระจกด้านล่างเลนส์รวมแสงเพื่อทำหน้าที่สะท้อนแสงเข้ากล้อง CCD
5. ตั้งกล้อง CCD ให้เซนเซอร์รับแสงที่สะท้อนมาจากกระจก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.27 Microscope imaging systems ตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 3 Digital holography microscopy systems

1. ติดตั้งเลเซอร์สีเขียวแสดงดังรูป
2. ติดตั้ง Polarizing beamsplitter ถัดจากเลเซอร์
3. ด้าน Reference beam ให้ทำการติดตั้ง Beam expander, polarizing plate, ND filter
4. ส่วนแสงอีกลำหนึ่ง ให้สะท้อนกระจกขึ้นด้านบน ผ่านเลนส์เว้า เพื่อขยายลำแสง แล้วหลังจากนั้น สะท้อนกระจกอีก 2 ครั้งดังรูปเพื่อ เข้าเลนส์รวมแสงผ่านลงไป Objective lens ลงมาสะท้อนที่กระจก และพุ่งเข้าไปที่ Beam splitter
5. ที่ Beam splitter จะเป็นส่วนที่แสงทั้ง 2 ลำ เกิดการแทรกสอดกันจากนั้นลำแสงที่แทรกสอดกัน จะสะท้อนเข้ากล้อง CCD ที่วางไว้เพื่อรับแสง



รูปที่ 3.28 Digital holographic microscopy systems

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลการวิจัยของ นาย นวพร เหล่าวัฒนธรรม และ นางสาว นภารัตน์ เจียมอนันท์ กุล ในปริญญาานิพนธ์ X-Y STAGE CONTROLLER FOR OPTICAL TWEEZERS SYSTEMS

4.1.1 ผลการทดสอบการทำงานของระบบควบคุมแบบกึ่งอัตโนมัติ

สเต็ปป์มอเตอร์ที่นำมาใช้นั้นเป็นสเต็ปป์มอเตอร์แบบ 5 เฟส ความละเอียด 0.072 องศา ต่อสเต็ป ซึ่งก็คือภายใน 1 รอบหรือ 360 องศา ต้องหมุนทั้งหมด 5,000 สเต็ป โดยที่เมื่อสเต็ปป์มอเตอร์หมุนไปครบ 1 รอบ หรือ 5,000 สเต็ป จะเท่ากับการเคลื่อนที่ของแกน X,Y 0.5 มิลลิเมตร และเมื่อสเต็ปป์มอเตอร์เคลื่อนที่ไปครบ 20 รอบ กับ 40 รอบ จะเท่ากับเกิดการเคลื่อนที่ของแกน X,Y 10 มิลลิเมตรและ 20 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 แสดงผลคุณสมบัติของ สเต็ปป์มอเตอร์

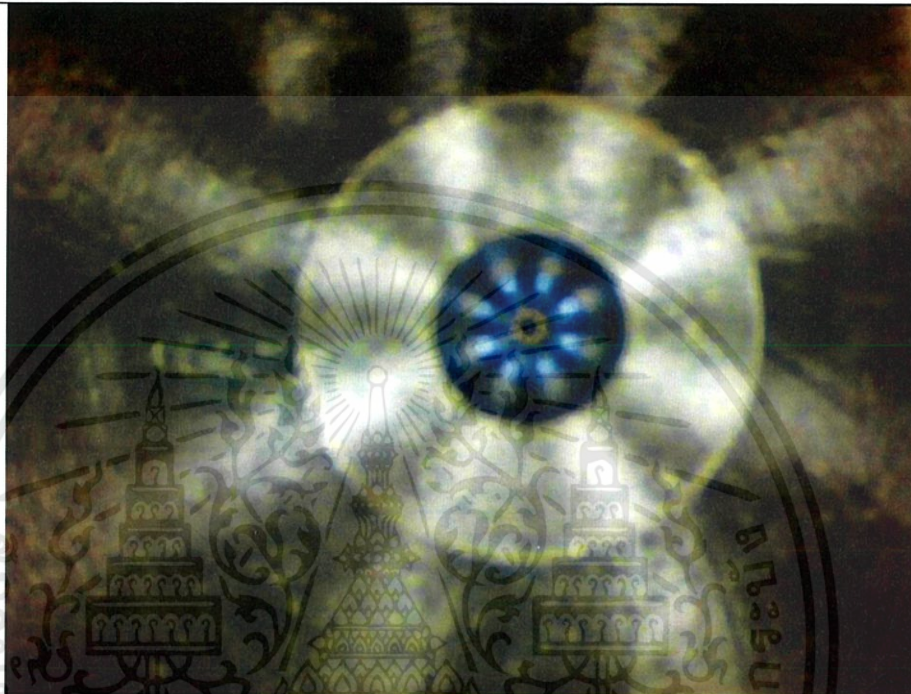

ประเภทสเต็ปป์มอเตอร์	5 เฟส
ความละเอียด	0.072 องศา/สเต็ป
หมุนครบ 1 รอบ (360 องศา)	5,000 สเต็ป
ระยะการเคลื่อนที่	0.5 มิลลิเมตร/การหมุน 1 รอบ

ตารางที่ 4.2 แสดงผลคุณสมบัติของแท่นเลื่อน X-Y

ความละเอียดในการเลื่อน	0.2 ไมโครเมตร
ความแม่นยำในการเลื่อน	1 ไมโครเมตร
ความเร็วในการหมุน	50 มิลลิเมตร/วินาที
ระยะทางในการเลื่อนสูงสุด	แกน X=20 มิลลิเมตร, แกน Y=20 มิลลิเมตร
รองรับน้ำหนักได้สูงสุด	10 กิโลกรัม

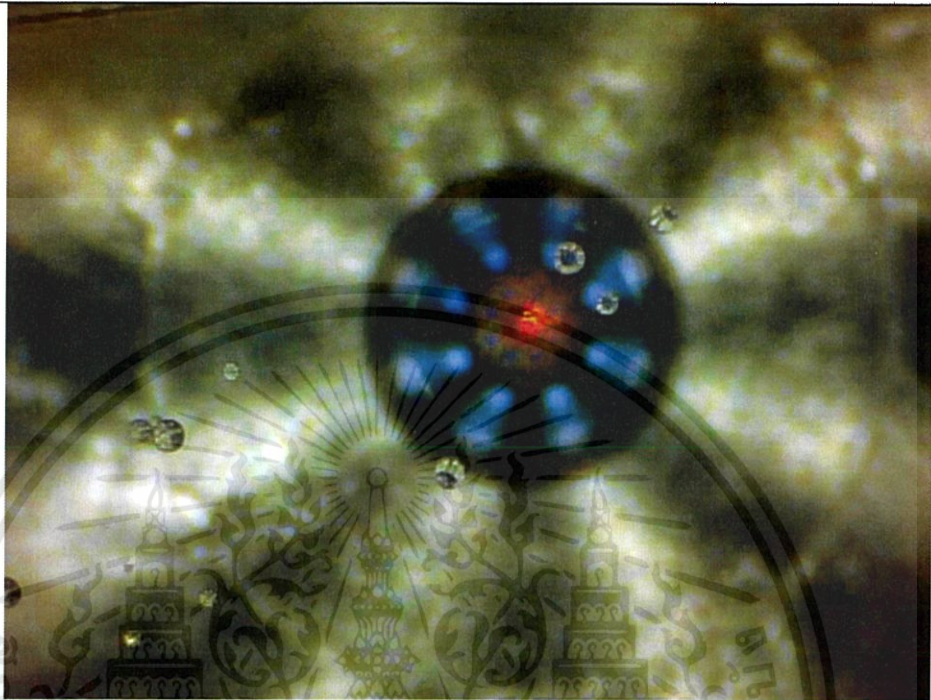

4.1.2 ระบบการมองเห็นภาพ

ตารางที่ 4.3 แสดงภาพของเม็ดปีทขนาด 8 ไมโครเมตร ที่กำลังขยาย 50 และ 250 เท่า

กำลังขยาย (เท่า)	ภาพเม็ดปีทขนาด 8 ไมโครเมตร
50	
250	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงภาพของเม็ดบีทขนาด 100 ไมโครเมตร ที่กำลังขยาย 50 และ 250 เท่า

กำลังขยาย (เท่า)	ภาพเม็ดบีทขนาด 100 ไมโครเมตร
50	
250	

จากการวิจัยข้างต้น เราจะพบว่าการทำงานของสเต็มปีงมอเตอร์ค่อนข้างมีความละเอียดพอสมควร ซึ่งถือว่าน่าพึงพอใจสำหรับการวิจัยในเรื่อง คีมจับเชิงแสง (Optical tweezers) แต่ปัญหาที่พบคือภาพจากการวิจัยข้างต้น จะพบปัญหาที่เกิดขึ้นจากความไม่คมชัดของภาพทำให้ไม่สามารถแยกแยะ องค์ประกอบต่างๆ ในภาพได้ ทำให้เกิดปัญหาในการดักจับอนุภาคของระบบ คีมจับเชิงแสงตามมา เพราะฉะนั้นการปรับปรุงระบบภาพของคีมจับเชิงแสงถือเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการยินยอมจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

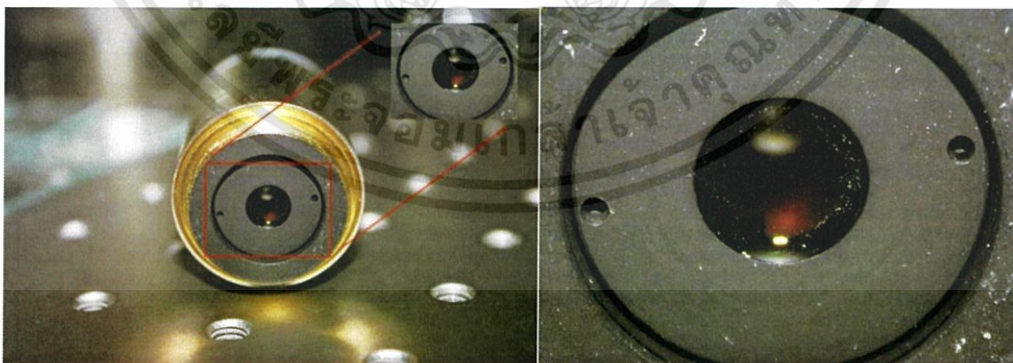
4.2 ผลการจับคู่อุปกรณ์เพื่อสร้างระบบ Beam expander

4.2.1 ผลจากการวัดขนาด Back aperture ของเลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยาย 100 เท่า

การขยายลำแสง โดยการทำ beam expander ก็เพื่อให้ลำแสงจากเลเซอร์มีขนาดใหญ่ขึ้น เพราะว่าลำแสงขนาดใหญ่ขึ้นทำให้การโฟกัสภายในเลนส์ใกล้วัตถุ มีการรวมแสงได้มากยิ่งขึ้นทำให้การดักจับวัตถุตัวอย่างของเราดียิ่งขึ้น แต่การขยายลำแสงก็ไม่ควรขยายลำแสงใหญ่มากเกินไป Back aperture ของเลนส์ใกล้วัตถุมากเกินไป เพราะจะทำให้กำลังของเลเซอร์หายไปทำให้การดักจับทำได้ไม่ดีนัก ก่อนอื่นต้องทำการวัดขนาด Back aperture ของเลนส์ใกล้วัตถุ



รูปที่ 4.1 แสดงภาพเลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยาย 100 เท่า



ก)

ข)

รูปที่ 4.2 ก) แสดงภาพเลนส์ใกล้วัตถุและ Back aperture ของเลนส์ที่มีกำลังขยาย 100 เท่า

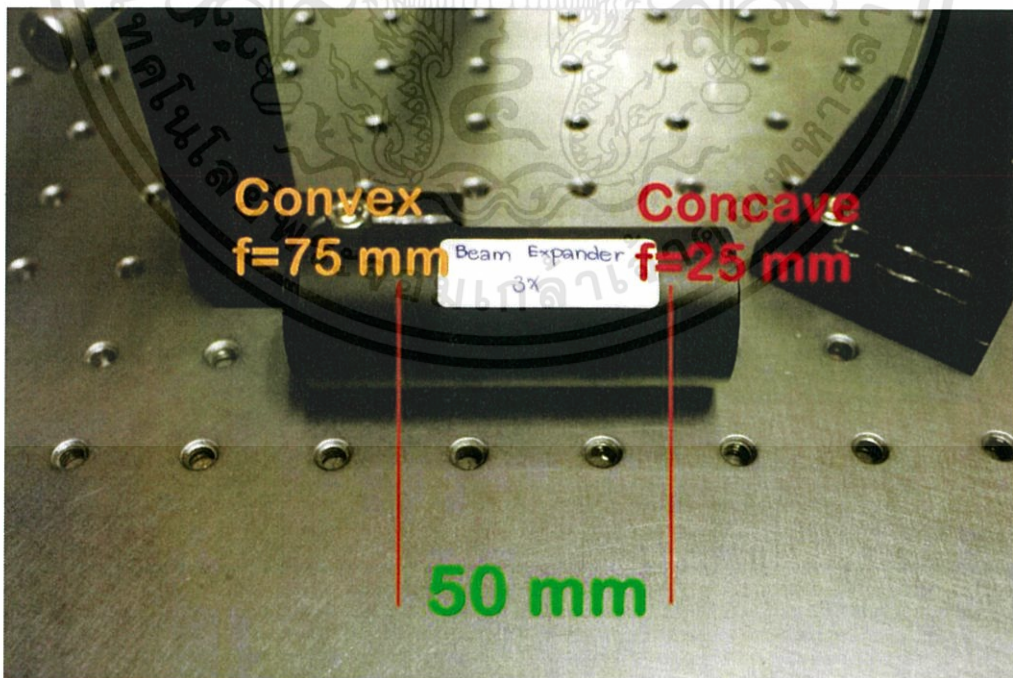
ข) แสดง Black aperture ของเลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยาย 100 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงขนาดของ Back aperture ของเลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยาย 100 เท่า

Back aperture (mm)	รูปภาพแสดงขนาดของ Back aperture ของเลนส์ใกล้วัตถุ
6.56	

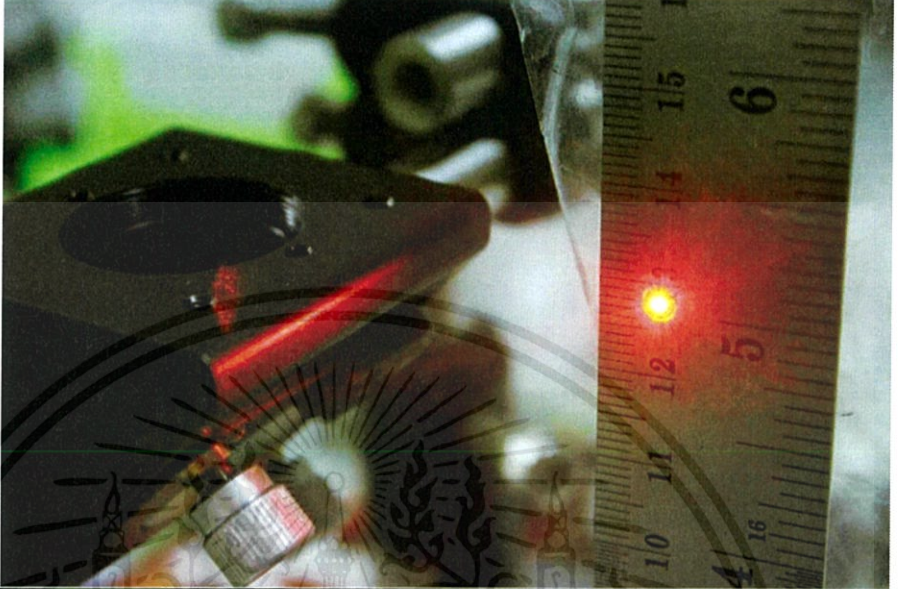

4.2.2 ผลการทดสอบ และวิเคราะห์ ระบบของ Beam expander



รูปที่ 4.3 ภาพการจัดระยะของ Beam expander กำลังขยาย 3 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงการวัดขนาดของแสงเลเซอร์

ขนาดของลำแสงเลเซอร์	รูปภาพขนาดของลำแสงเลเซอร์
<p>1.8 mm (ก่อนเข้า Beam expander)</p>	
<p>5.1 mm (หลังออก Beam expander)</p>	

จากผลการทดลองพบว่า วิธีการคำนวณขนาดของเลเซอร์ที่ได้หลังจาก ผ่านอุปกรณ์ Beam Expander จากสมการ ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางหลังจากการขยาย $W_2 = (F_2/F_1) * W_1$ โดยที่ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของเลเซอร์ก่อนขยาย (W_1) = 1.8 มิลลิเมตร

ระยะโฟกัสของเลนส์ตัวที่หนึ่ง เลนส์เว้า (f) = 25 มิลลิเมตร

ระยะโฟกัสของเลนส์ตัวที่สอง เลนส์นูน (f) = 75 มิลลิเมตร

ดังนั้น จากสมการจะได้ว่า $W_2 = (75\text{มิลลิเมตร}/25\text{มิลลิเมตร}) * (1.8\text{มิลลิเมตร}) = 5.4$ มิลลิเมตร

แต่จากผลการทดลอง ขนาดของลำแสงที่ถูกขยายเท่ากับ 5.1 มิลลิเมตร

คำนวณเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

= (ค่าจากทฤษฎี-ค่าจากการทดลอง)/ค่าจากทฤษฎี * 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

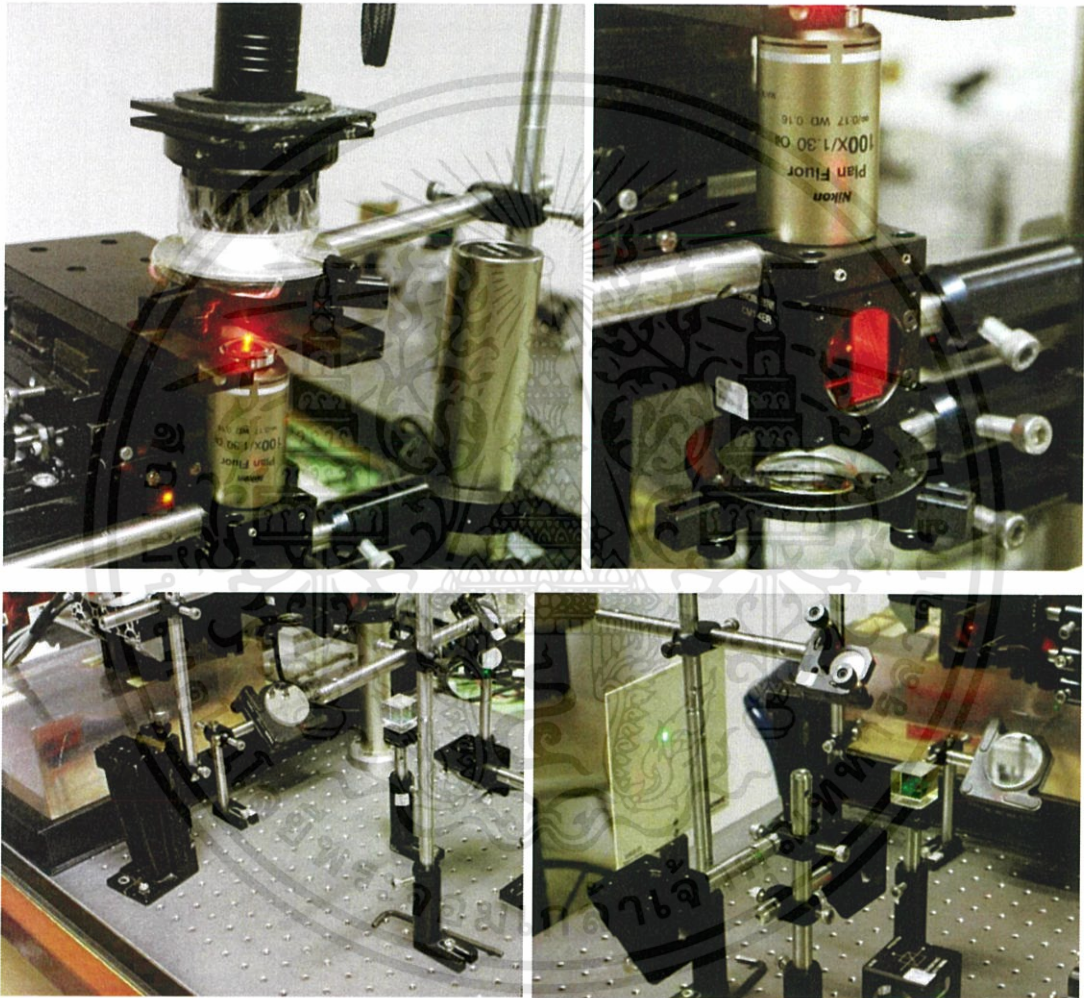
$$= (5.4 \text{ มิลลิเมตร} - 5.1 \text{ มิลลิเมตร}) / 5.4 \text{ มิลลิเมตร} * 100$$

$$= 5.56 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

ดังนั้น เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการขยายลำแสงเท่ากับ 5.56

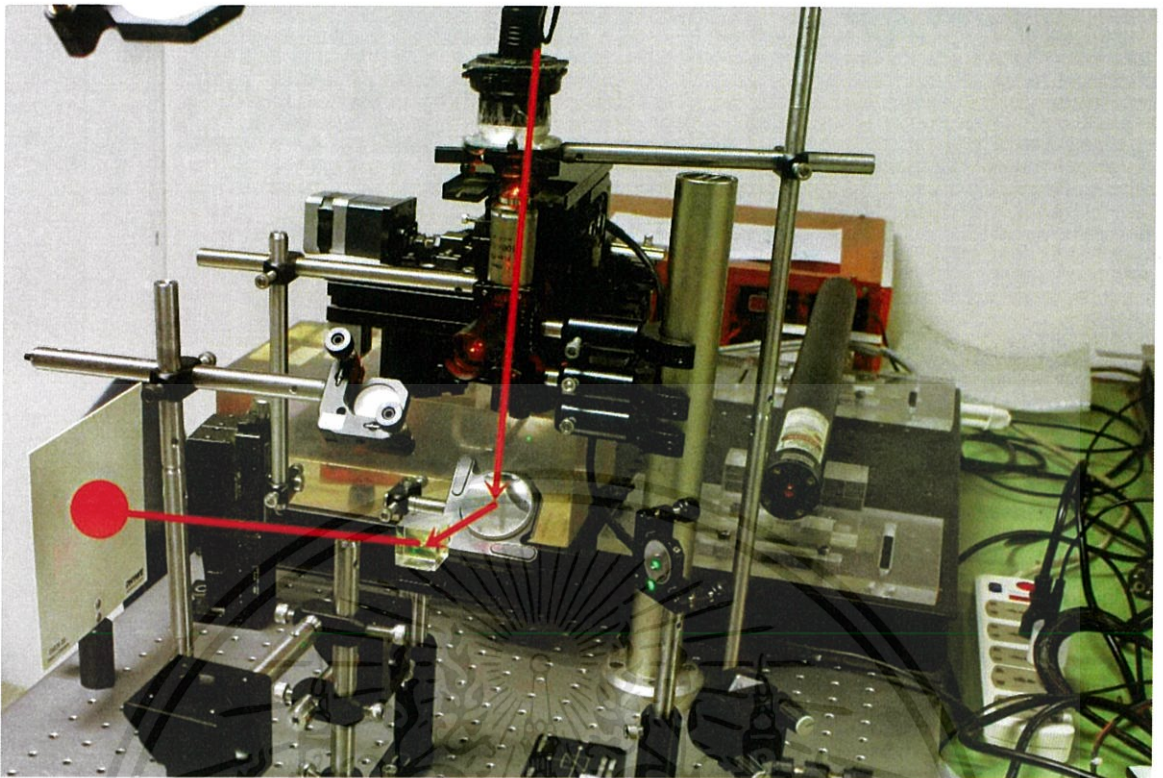
4.3 ผลการสร้างระบบทัศนศาสตร์ในการมองภาพแบบ Microscope systems

4.3.1 ผลการจัดระบบการมองภาพแบบ Microscope systems



รูปที่ 4.4 ภาพระบบการมองเห็นแบบ Microscope systems

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

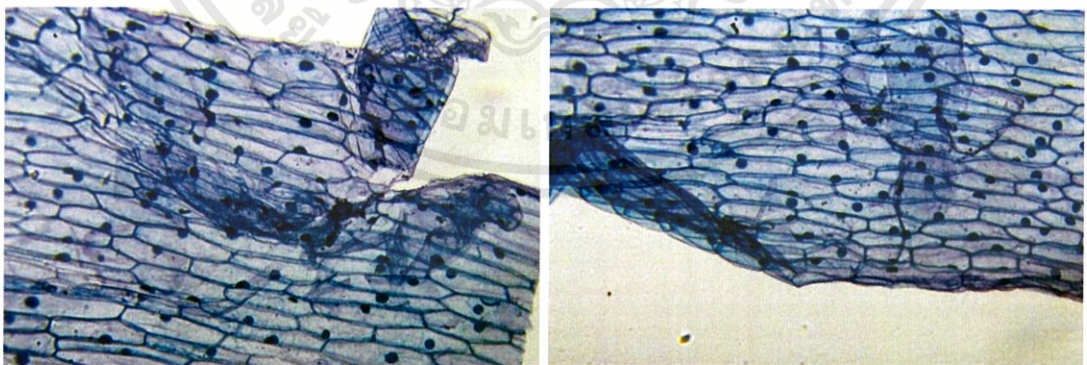


รูปที่ 4.5 ระบบการมองภาพแบบ Microscope systems

4.3.2 ผลการทดสอบระบบการมองเห็นภาพ

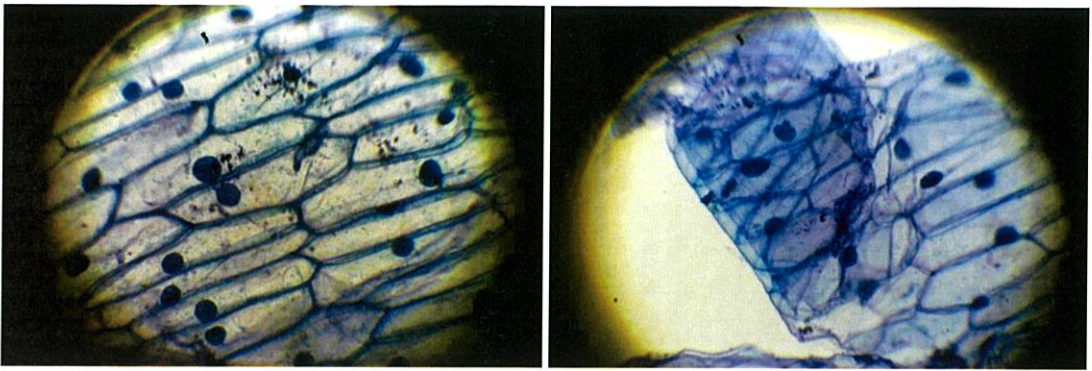
ผลการทดสอบระบบการมองเห็นภาพต่อไปนี้ ก็เพื่อทดสอบระบบ เพื่อให้เห็นว่าระบบภาพที่เราประยุกต์และพัฒนาขึ้นมีความคมชัดและสามารถนำไปใช้งานได้ไม่ใช่แค่กับ คีมจับเชิงแสง เท่านั้น แต่ระบบภาพของเรายังนำไปต่อยอดในงานวิจัยอื่นได้ทั้งทาง ชีววิทยา เคมี และฟิสิกส์

ส่วนที่ 1 ภาพ Onion cells

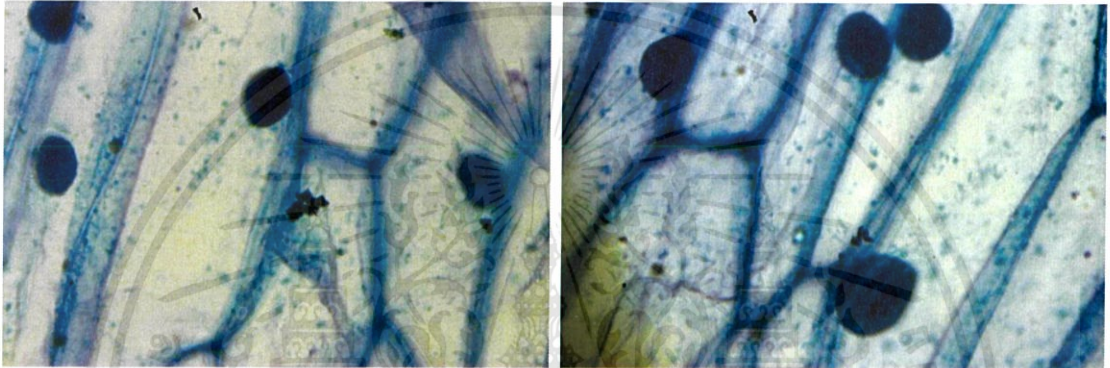


รูปที่ 4.6 ภาพเซลล์หัวหอมที่กำลังขยาย 200 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

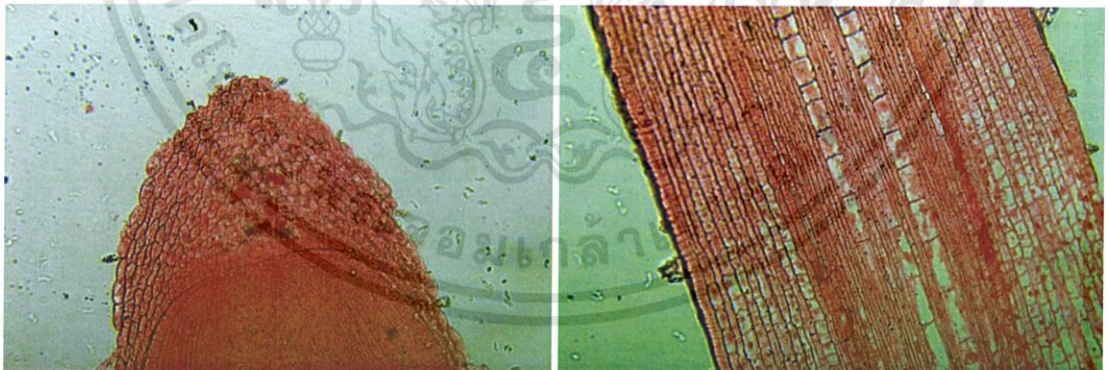


รูปที่ 4.7 ภาพเซลล์หัวหอมที่กำลังขยาย 450 เท่า



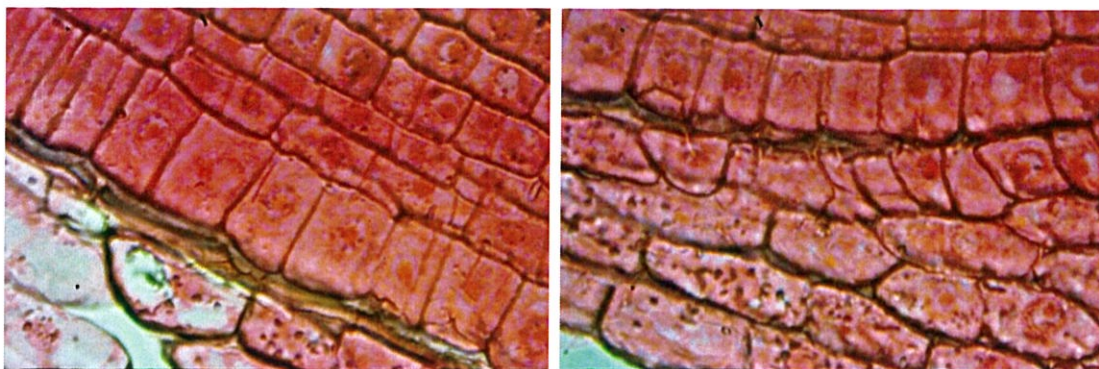
รูปที่ 4.8 ภาพเซลล์หัวหอมที่กำลังขยาย 1000 เท่า

ส่วนที่ 2 ภาพ Plant root tip cells



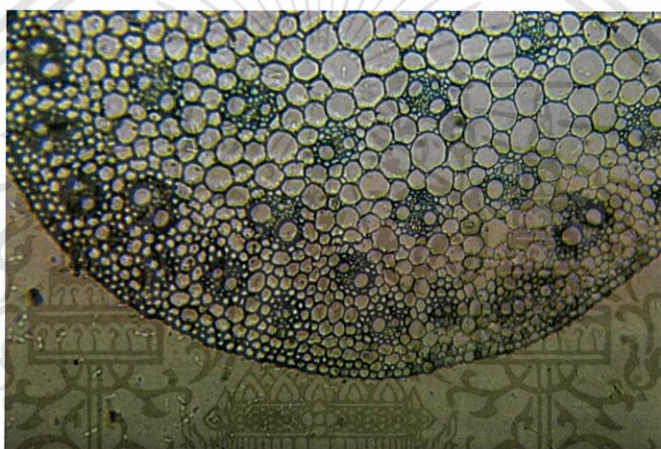
รูปที่ 4.9 ภาพเซลล์รากของพืชที่กำลังขยาย 200 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



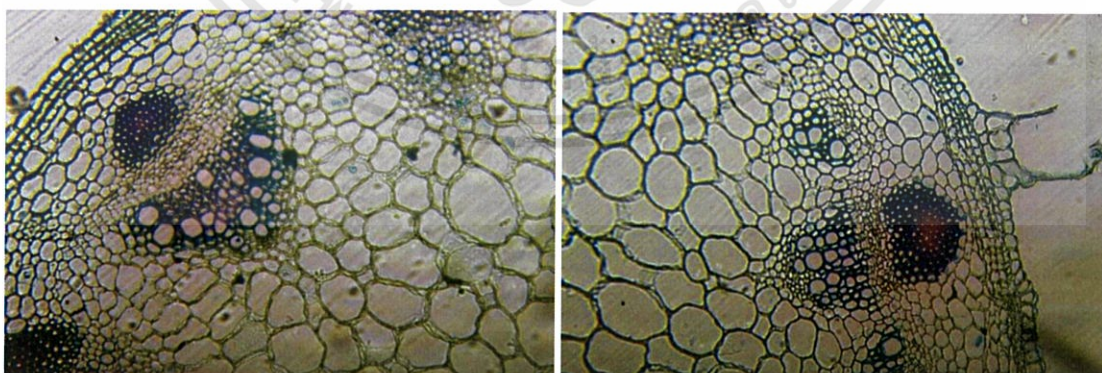
รูปที่ 4.10 ภาพเซลล์รากของพืชที่กำลังขยาย 1000 เท่า

ส่วนที่ 3 ภาพ Monocotyledon stem cells



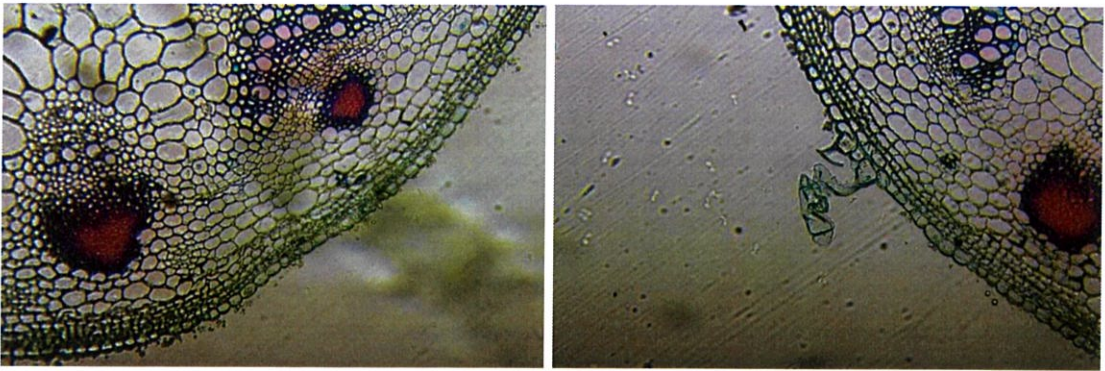
รูปที่ 4.11 ภาพเซลล์ลำต้นพืชของพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่กำลังขยาย 200 เท่า

ส่วนที่ 4 ภาพ Dicotyledon stem cells



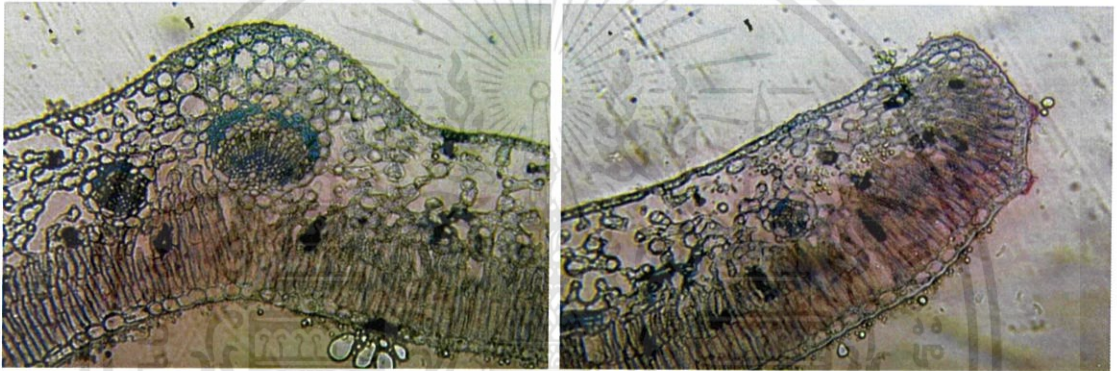
รูปที่ 4.12 ภาพเซลล์ลำต้นพืชของพืชใบเลี้ยงคู่ที่กำลังขยาย 200 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



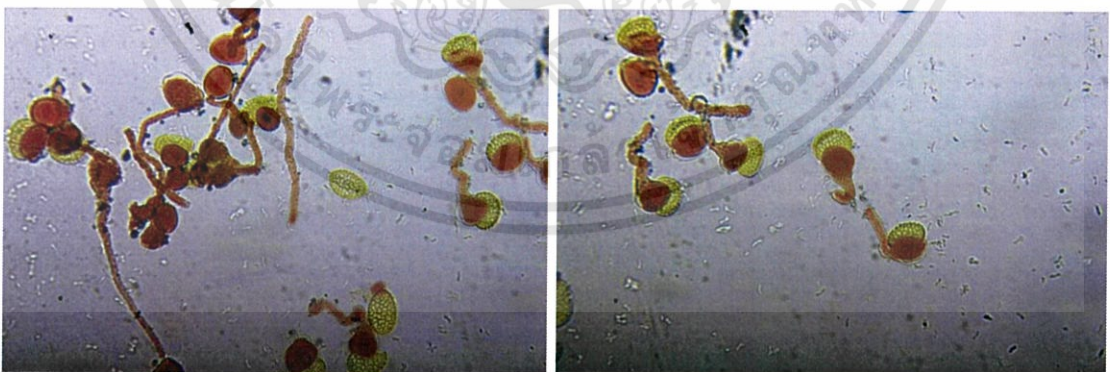
รูปที่ 4.13 ภาพเซลล์ลำต้นพืชของพืชใบเลี้ยงคู่ที่กำลังขยาย 200 เท่า

ส่วนที่ 5 ภาพ Dicotyledon leaves cells



รูปที่ 4.14 ภาพเซลล์ของใบไม้ในพืชใบเลี้ยงคู่ที่กำลังขยาย 200 เท่า

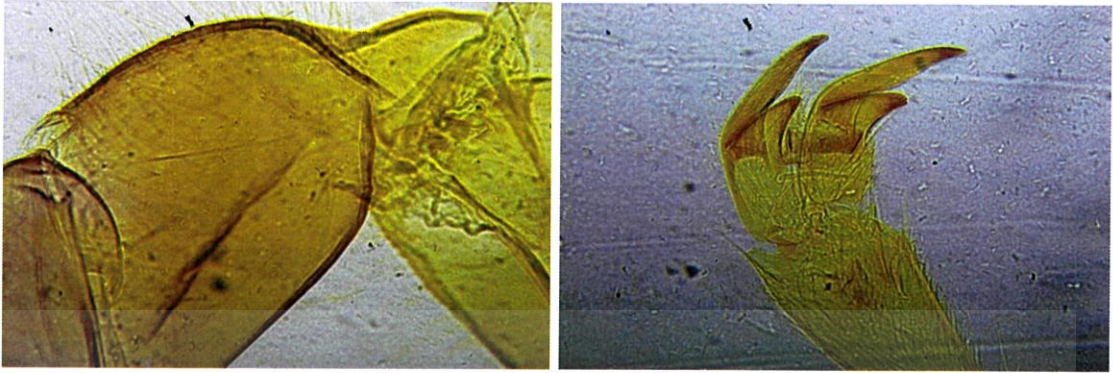
ส่วนที่ 6 ภาพ Pollen grain cells



รูปที่ 4.15 ภาพละอองเรณูในเซลล์สีบัพันธ์พืชเพศผู้ที่กำลังขยาย 200 เท่า

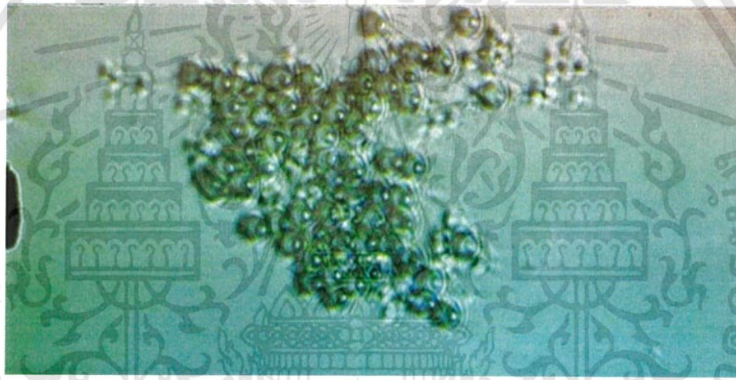
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 7 ภาพ Bee third leg



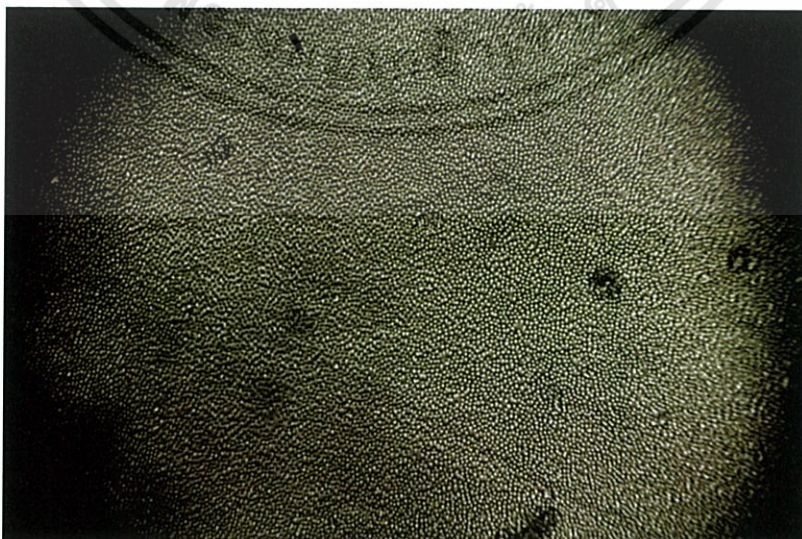
รูปที่ 4.16 ภาพขาของผึ้งที่กำลังขยาย 200 เท่า

ส่วนที่ 8 ภาพเม็ดบีด Polystyrene ขนาด 4 ไมครอน ที่ใส่ฟิลเตอร์ตัดแสงที่ความยาวคลื่น 600 nm



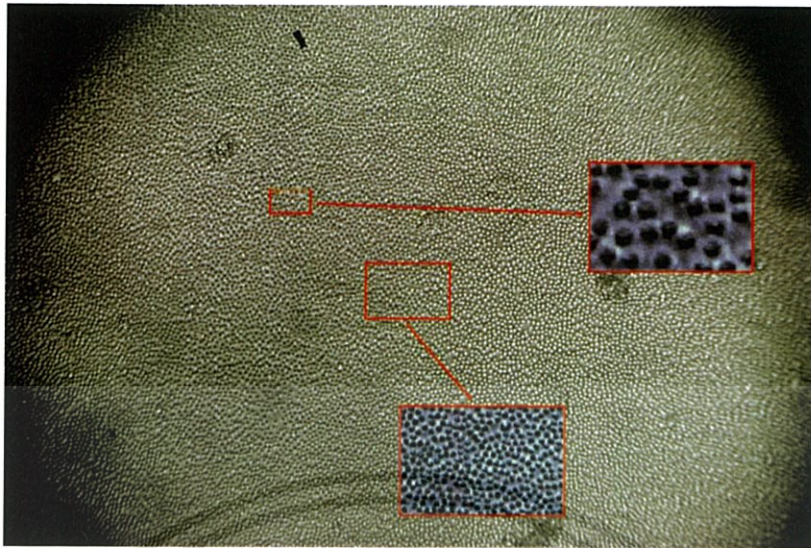
รูปที่ 4.17 ภาพบีด Polystyrene 4 ไมครอน ที่กำลังขยาย 450 เท่า

ส่วนที่ 9-1 ภาพเม็ดบีด Silica ขนาด 2 ไมครอน + Reconstruction image modified

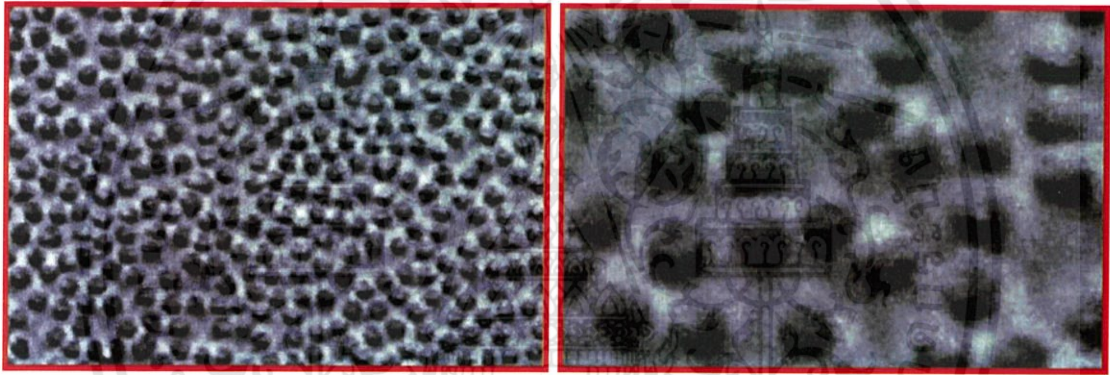


รูปที่ 4.18 ภาพบีด Silica 2 ไมครอน ที่กำลังขยาย 450 เท่า

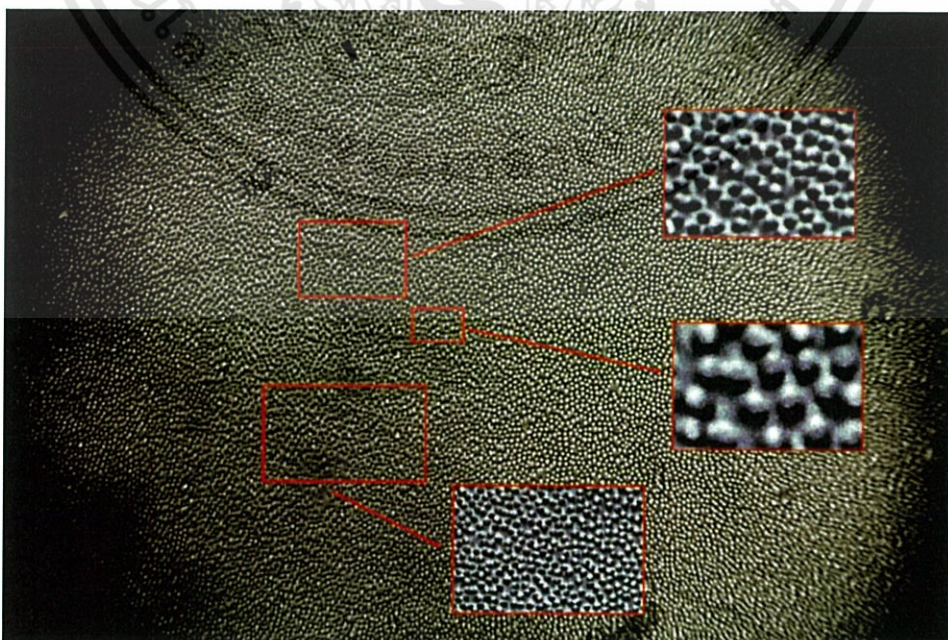
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 ภาพปืท Silica 2 ไมครอน ที่กำลังขยาย 450 เท่า

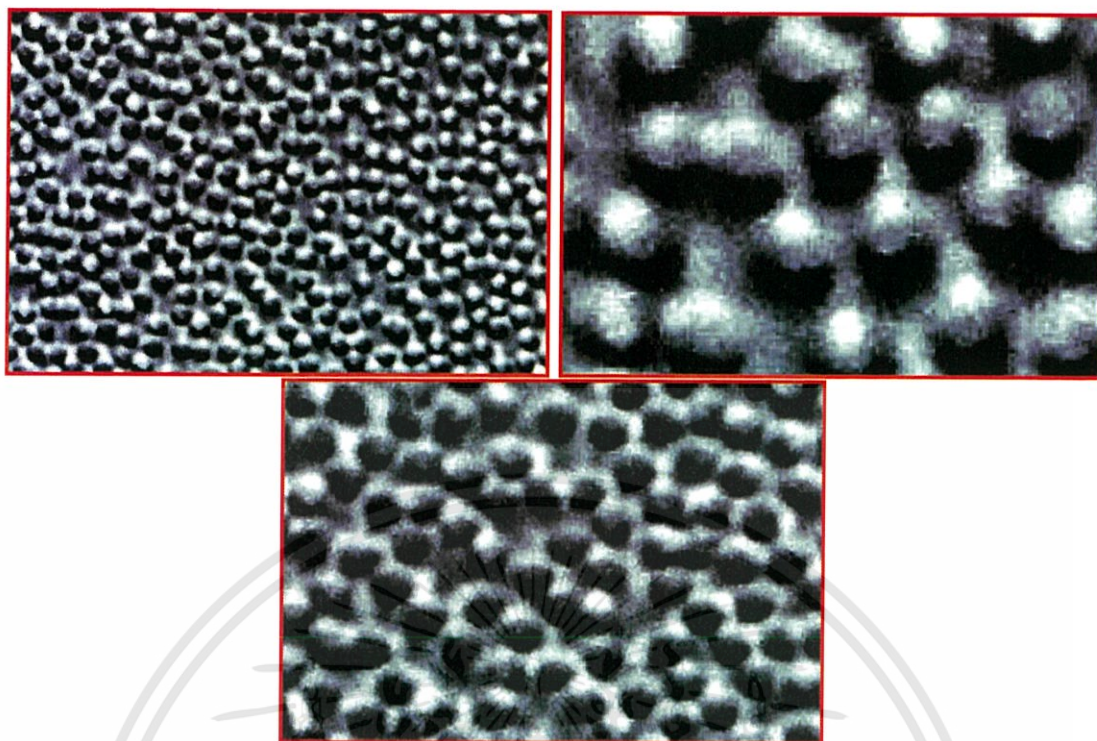


รูปที่ 4.20 ภาพปืท Silica 2 ไมครอน

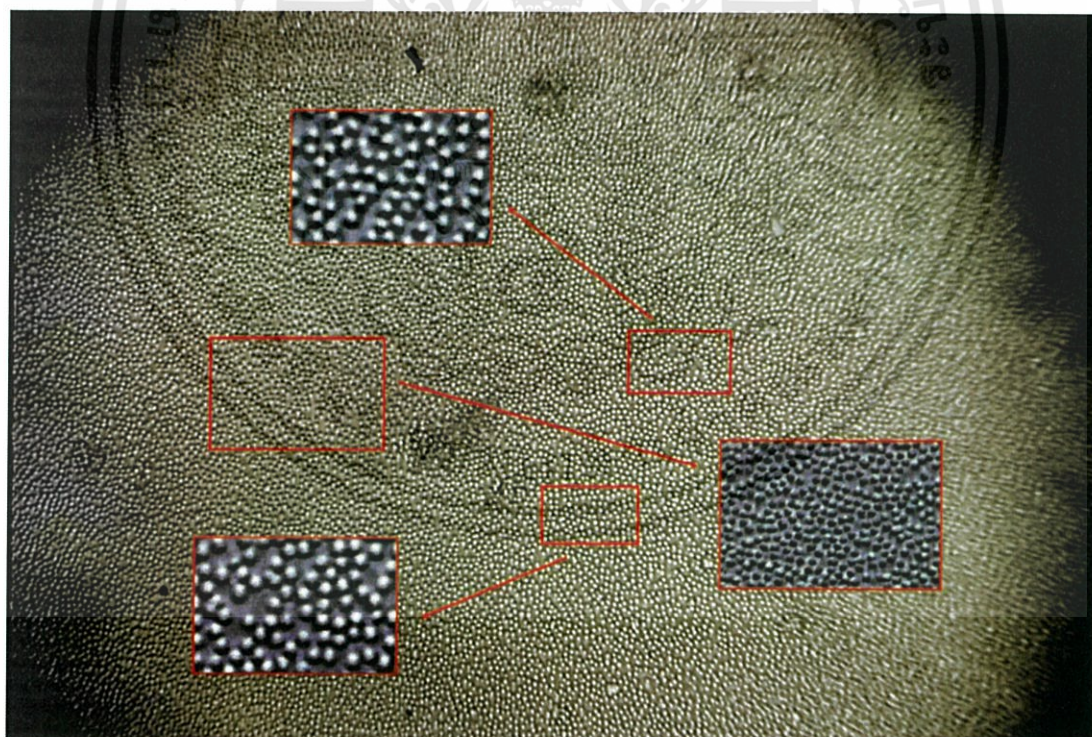


รูปที่ 4.21 ภาพปืท Silica 2 ไมครอน ที่กำลังขยาย 450 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

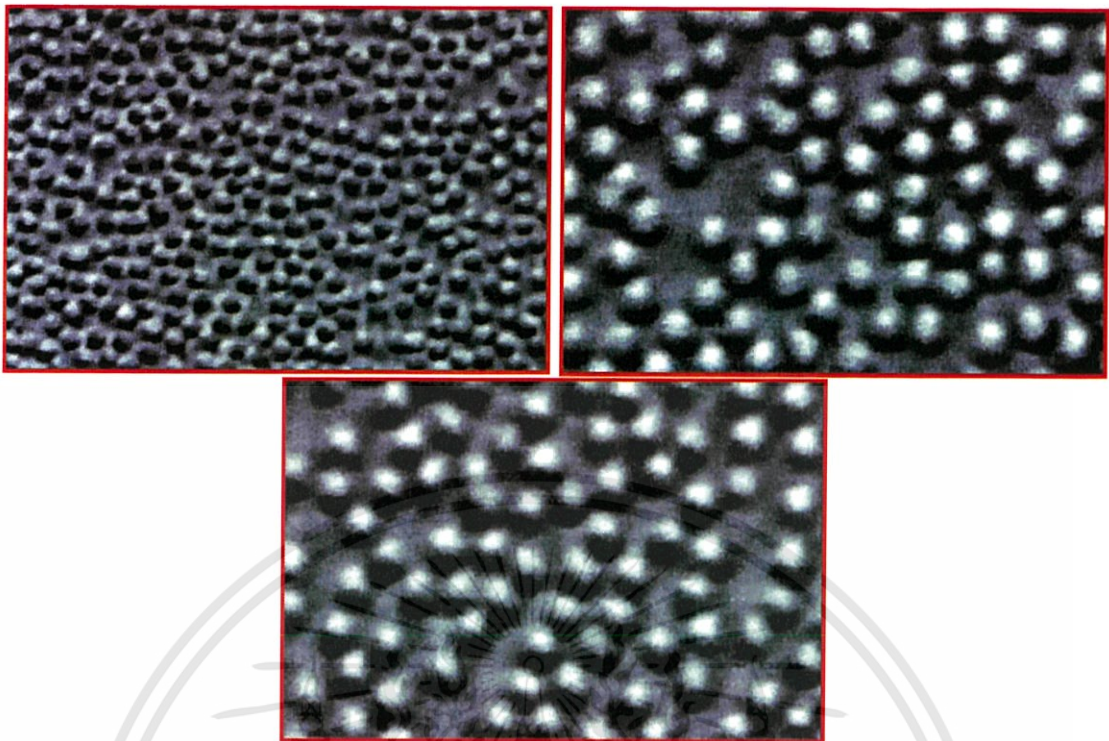


รูปที่ 4.22 ภาพปืท Silica 2 ไมครอน



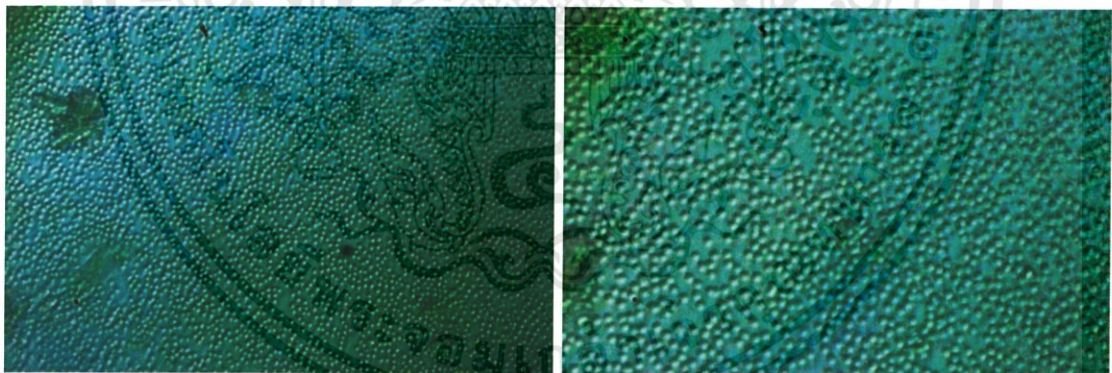
รูปที่ 4.23 ภาพปืท Silica 2 ไมครอน ที่กำลังขยาย 450 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 ภาพบัพท Silica 2 ไมครอน

ส่วนที่ 9-2 ภาพเม็ดบัพท Silica ขนาด 2 ไมครอน ที่ใส่ฟิลเตอร์ตัดแสงที่ความยาวคลื่น 600 nm



ก)

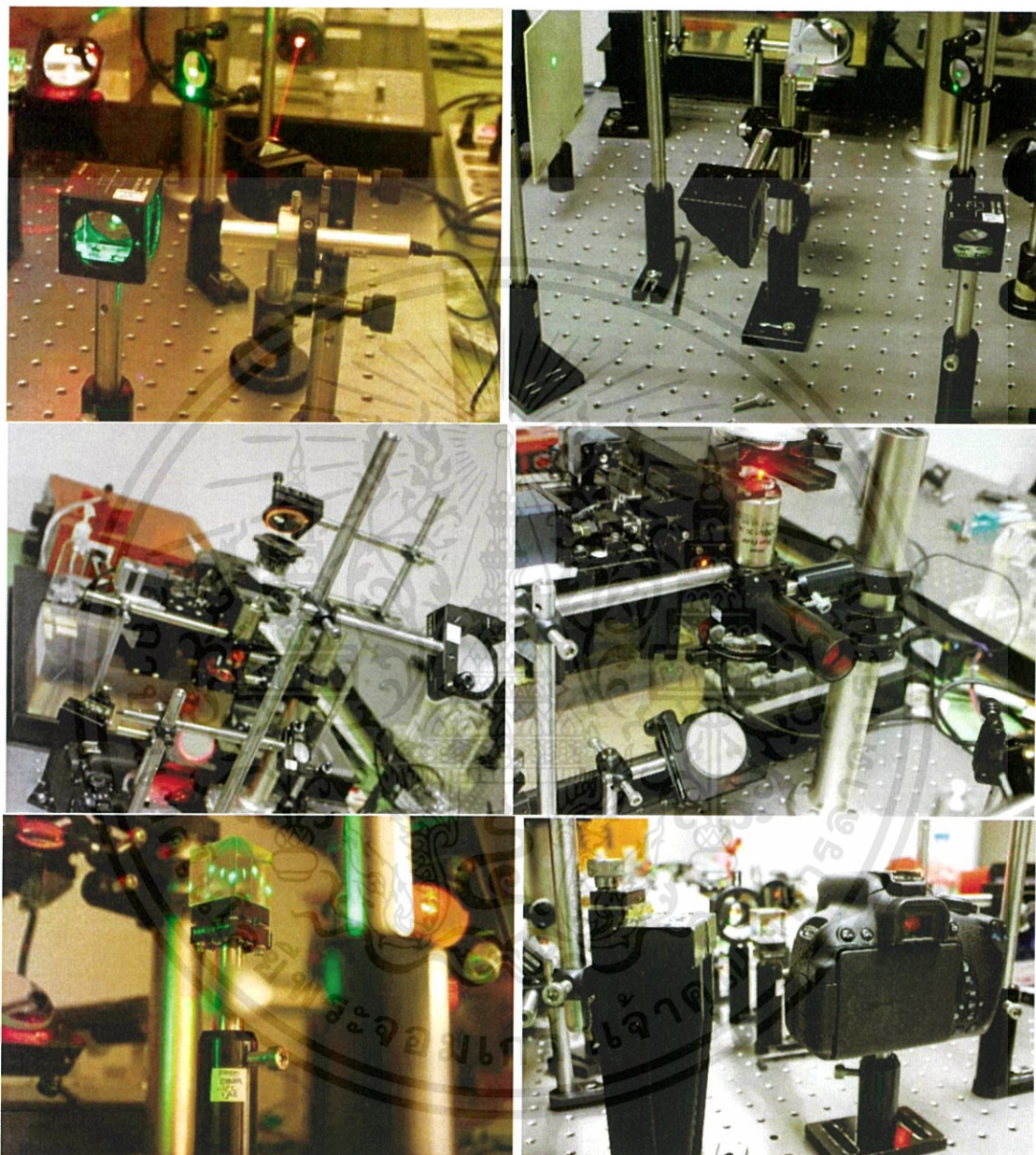
ข)

รูปที่ 4.25 ก) ภาพบัพท Silica 2 ไมครอน ที่กำลังขยาย 450 เท่า, ข) ภาพบัพท Silica 2 ไมครอน ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

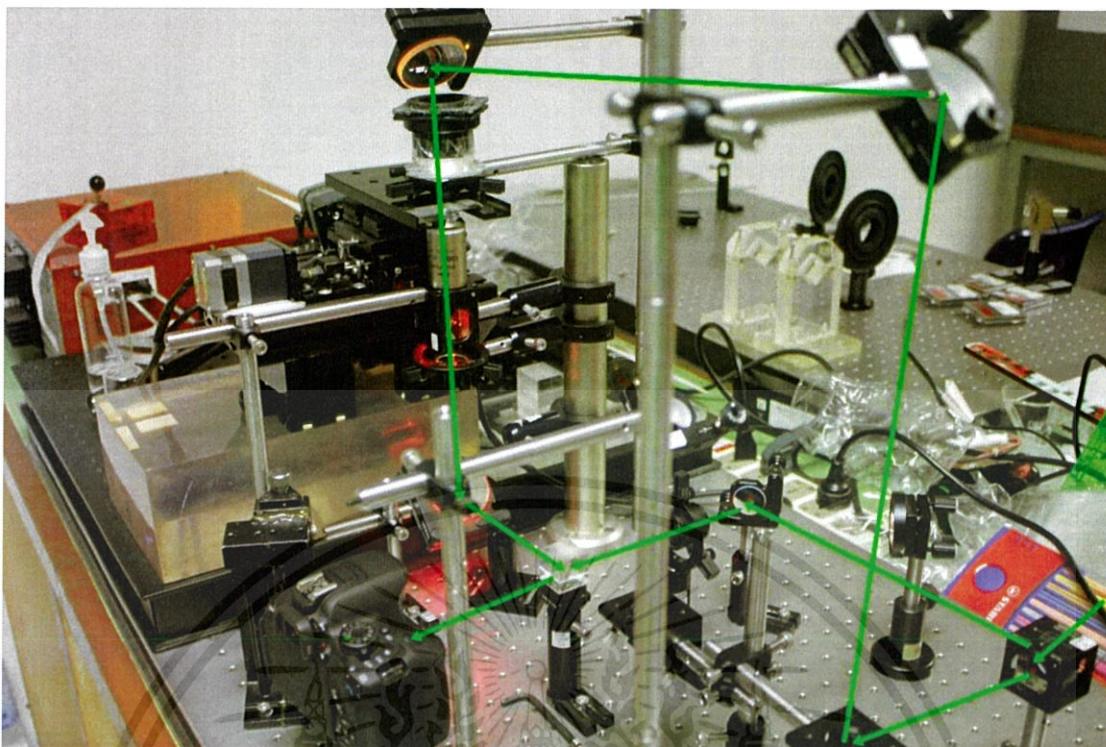
4.4 ผลการสร้างระบบทัศนศาสตร์ในการมองภาพแบบ Digital Holography

4.4.1 การจัดระบบการมองภาพแบบ Digital Holography



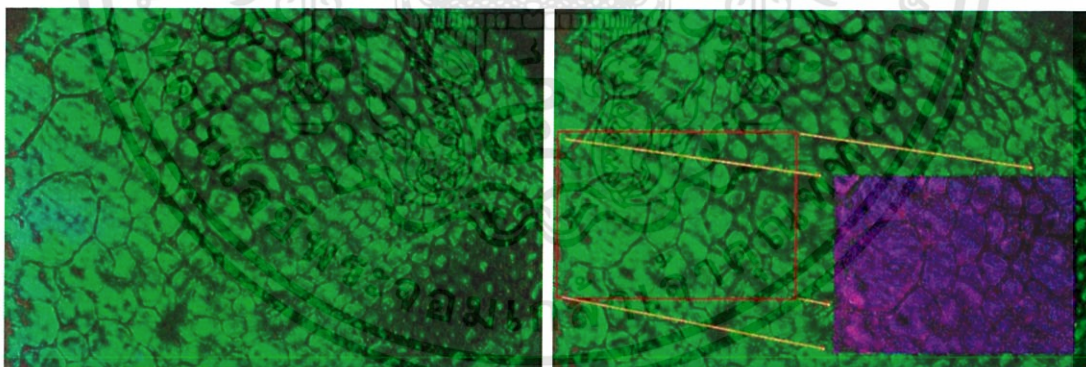
รูปที่ 4.26 ระบบการมองภาพแบบ Digital holographic microscopy systems

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



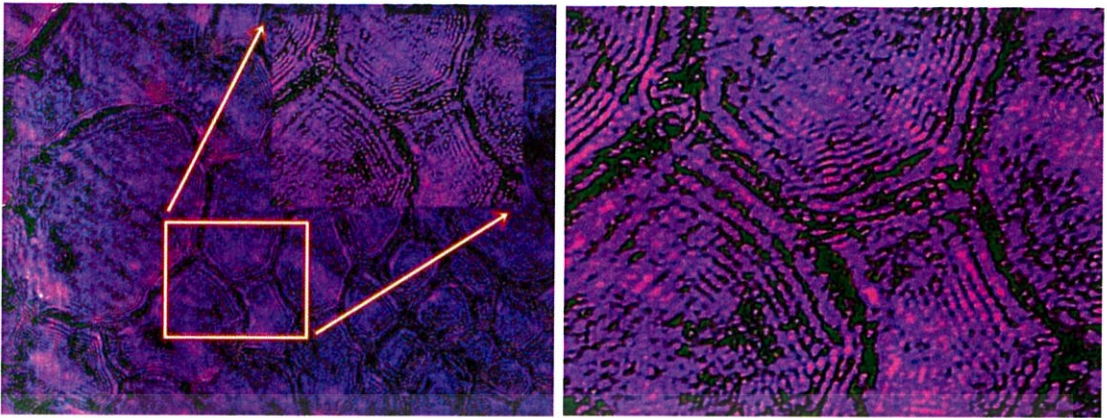
รูปที่ 4.27 ระบบการมองภาพแบบ Digital holographic microscopy systems

4.4.2 ผลการทดสอบระบบการมองเห็นภาพ

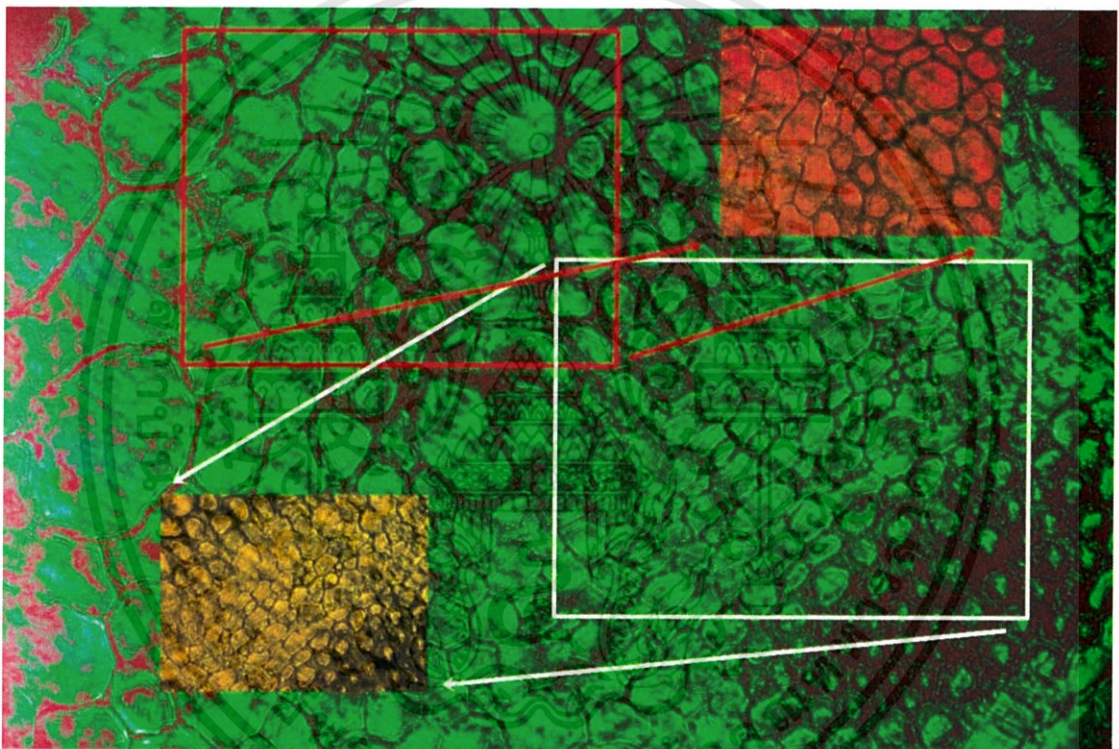


รูปที่ 4.28 ภาพเซลล์ลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่ และภาพขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

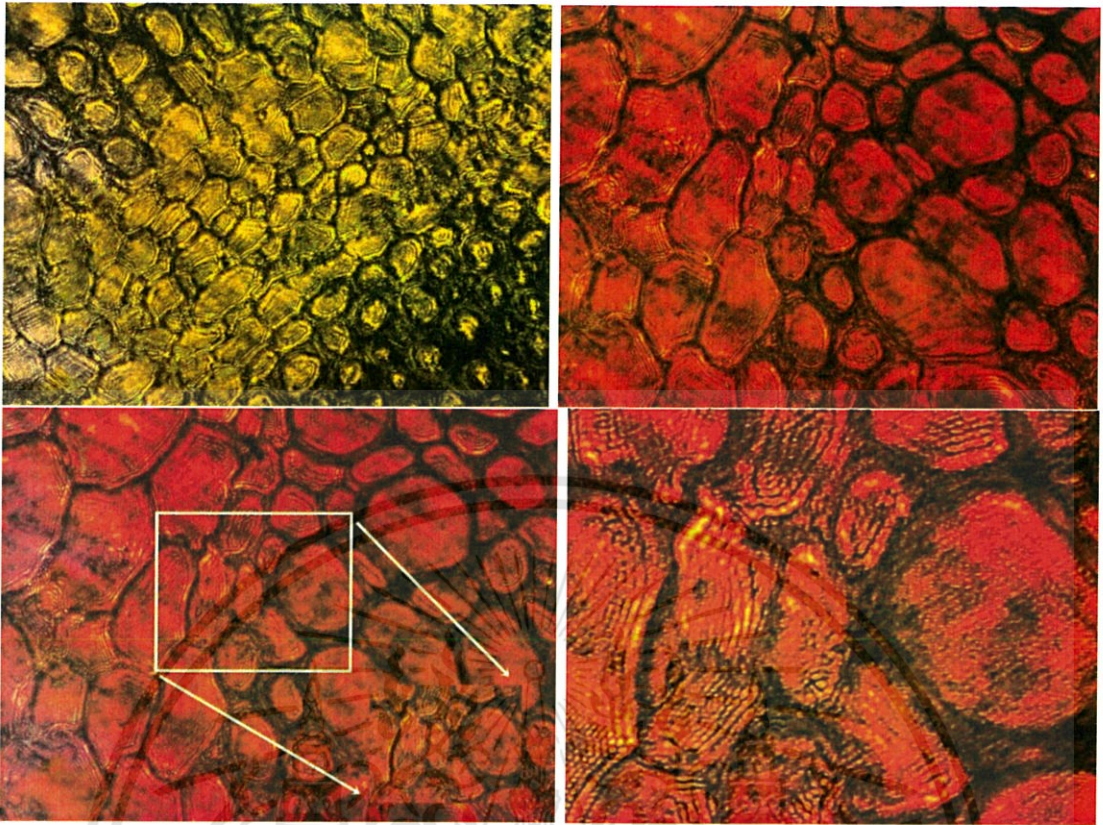


รูปที่ 4.29 ภาพขยายของเซลล์ลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่ เพื่อแสดง ความมีมิติของภาพ



รูปที่ 4.30 ภาพเซลล์ลำต้นพืชของพืชใบเลี้ยงคู่ที่กำลังขยาย 450 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



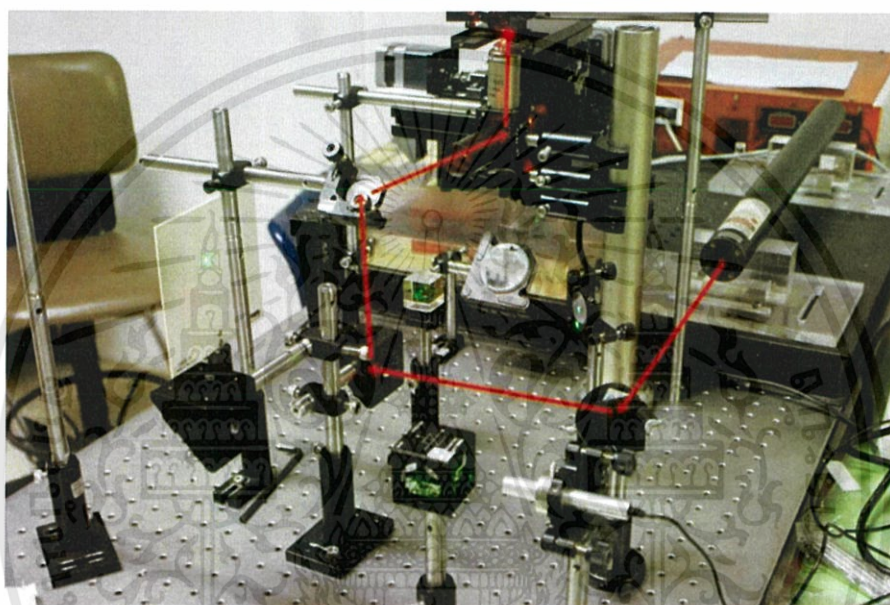
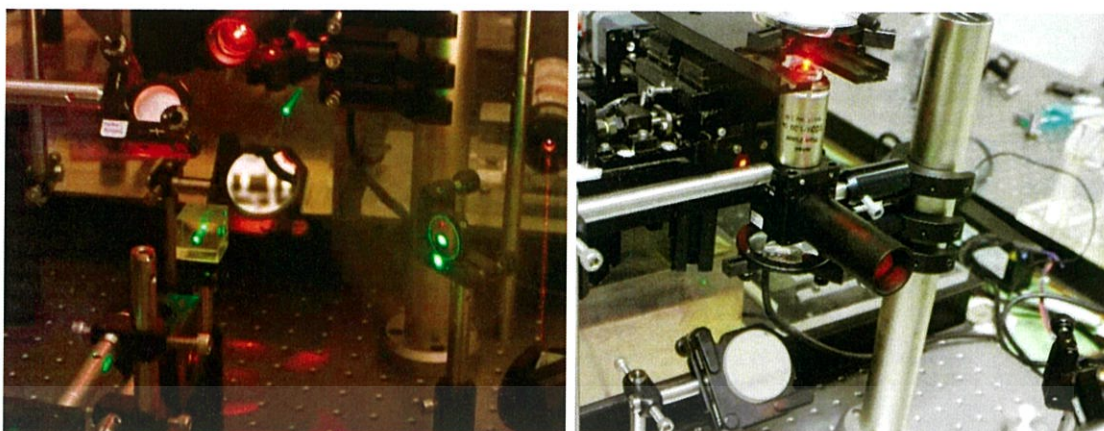
รูปที่ 4.31 ภาพแสดงความหนาของเซลล์ลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่

4.5 ผลการสร้างระบบทัศนศาสตร์ของ คีมจับเชิงแสง

4.5.1 ผลการจัดวางอุปกรณ์ทัศนศาสตร์ของ คีมจับเชิงแสง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

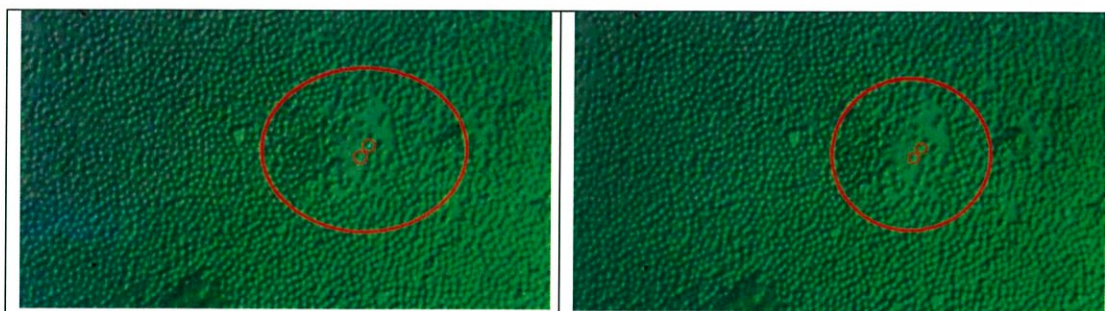


รูปที่ 4.32 ระบบการดักจับอนุภาคของ คีมจับเชิงแสง (Optical tweezers)

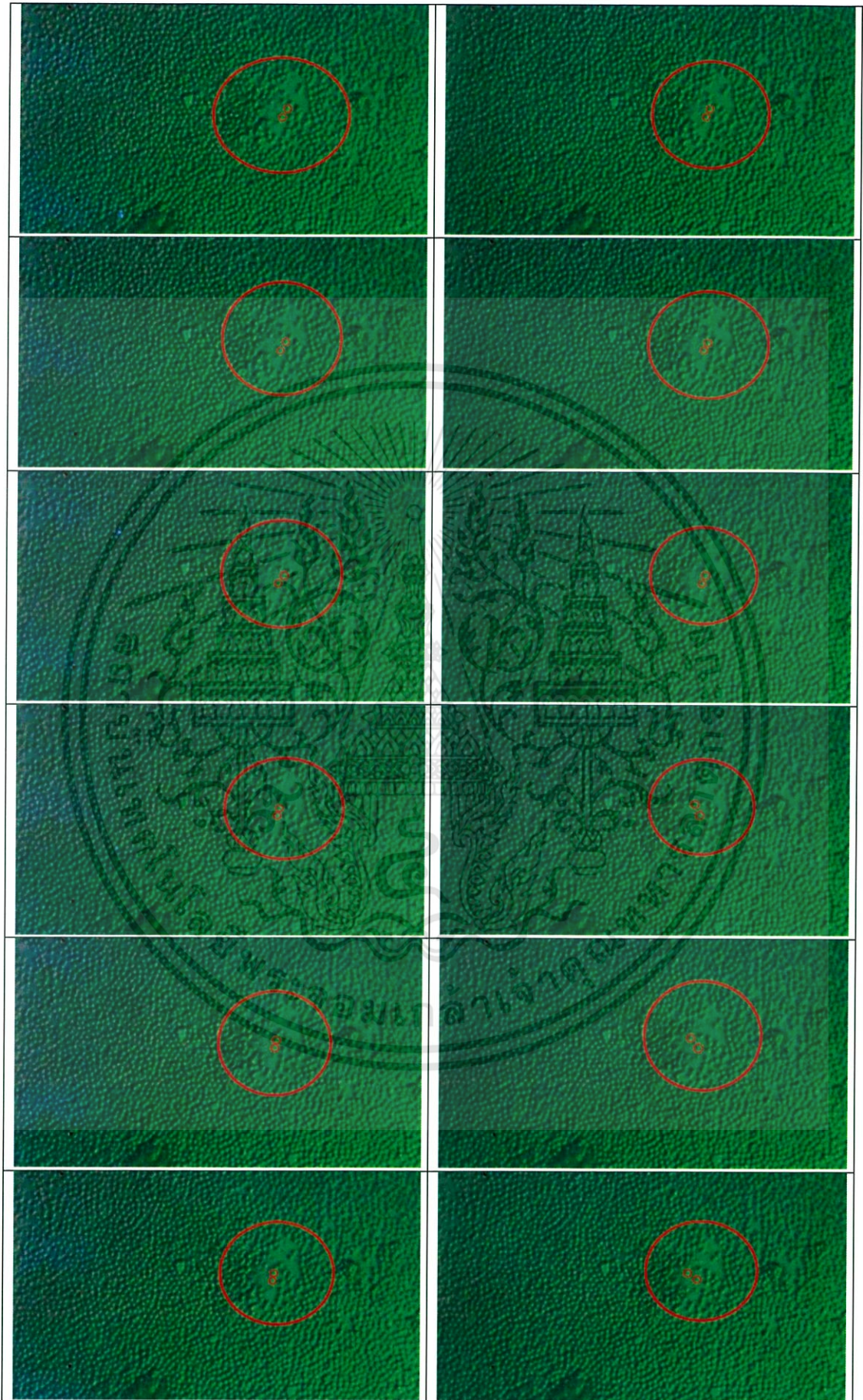
4.5.2 ผลการทดสอบระบบ คีมจับเชิงแสง

ในคีมจับเชิงแสง ในที่นี้เราได้แสดงเป็นภาพแบบต่อเนื่อง ในการดักจับอนุภาค Silica ภายในวงกลมสีแดง โดยเรียงจากบนลงล่าง จากนั้นจึง ซ้ายไปขวา ดังตารางต่อไปนี้

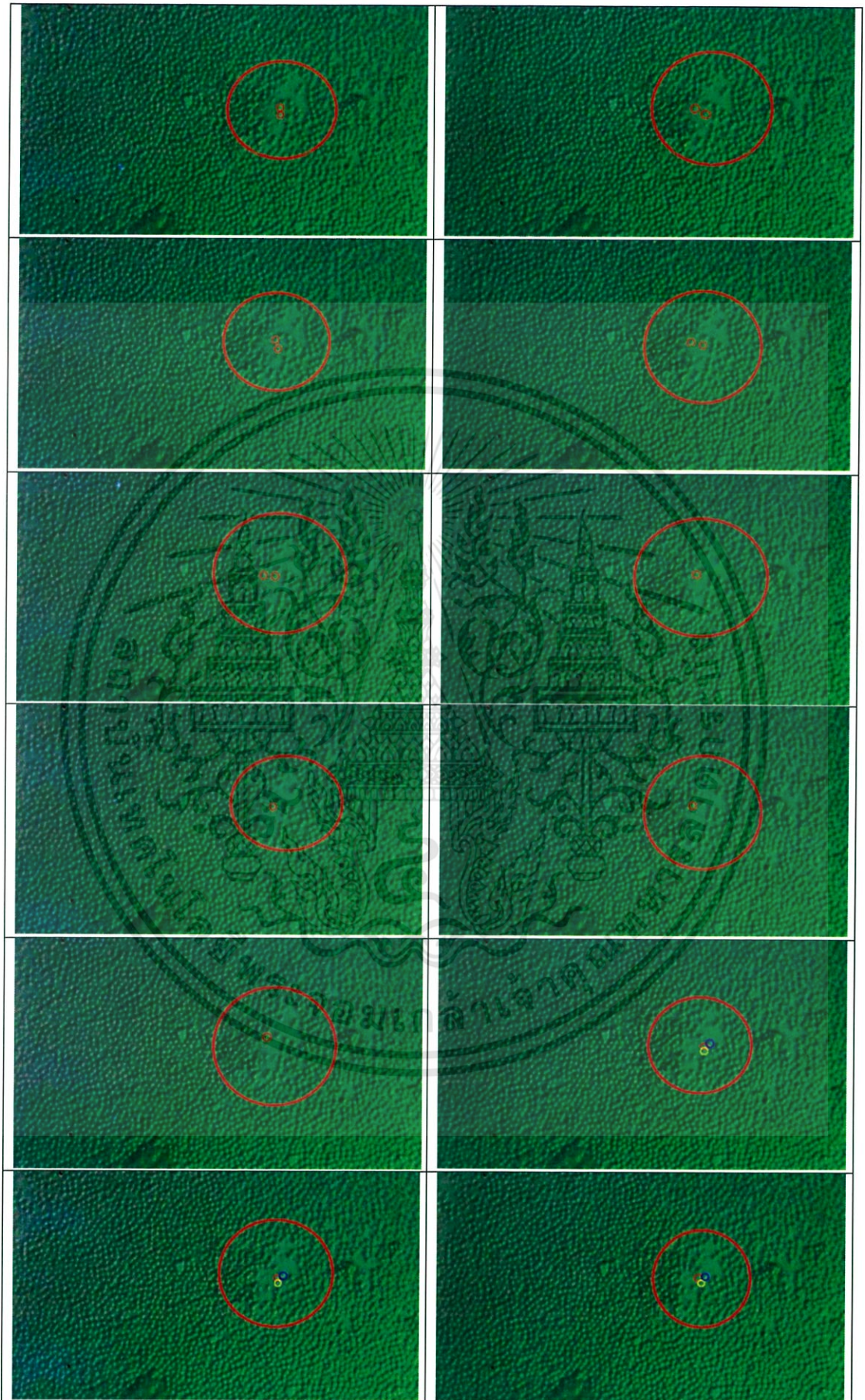
ตารางที่ 4.7 แสดงการดักจับ Silica ขนาด 2 ไมครอน



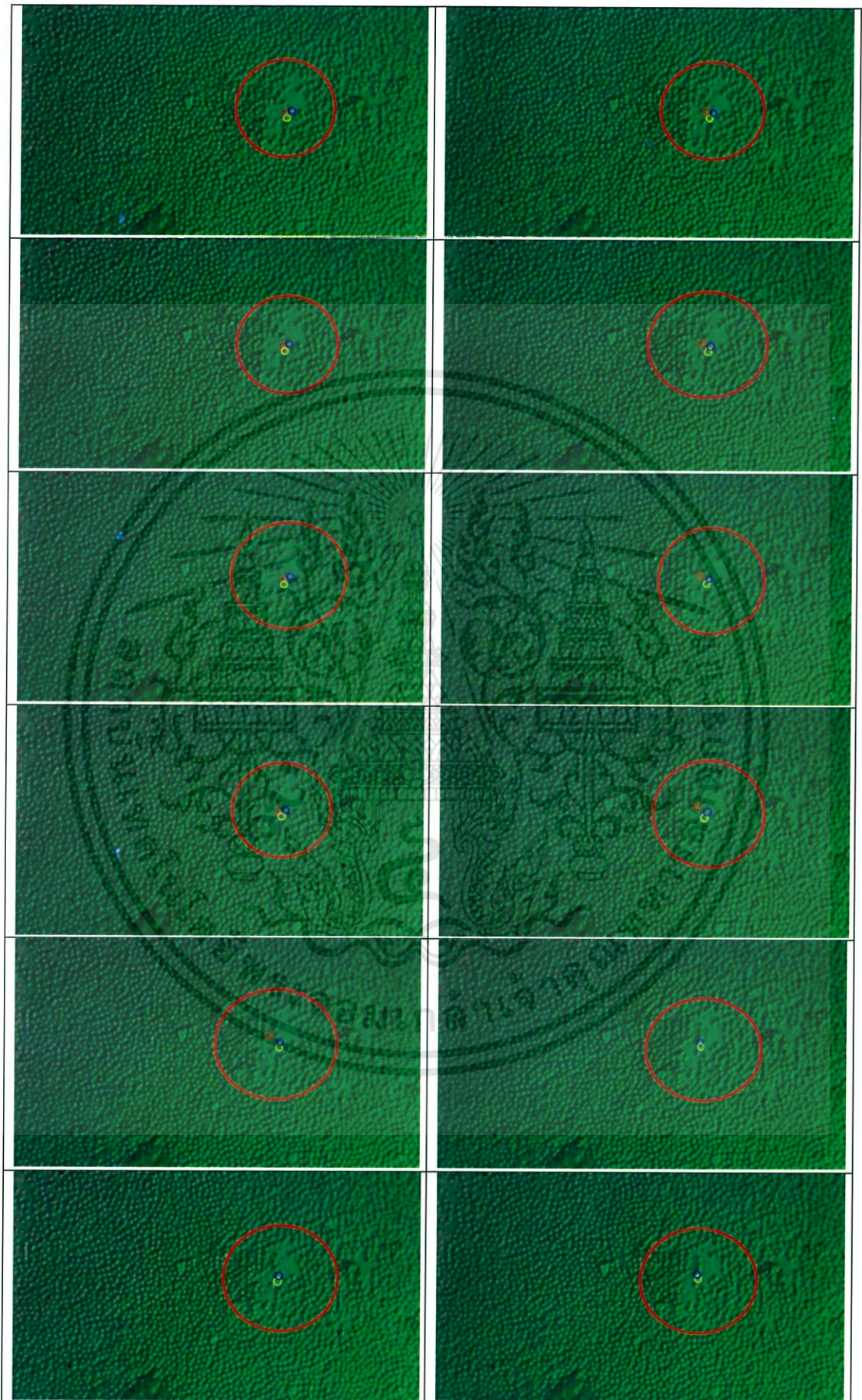
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



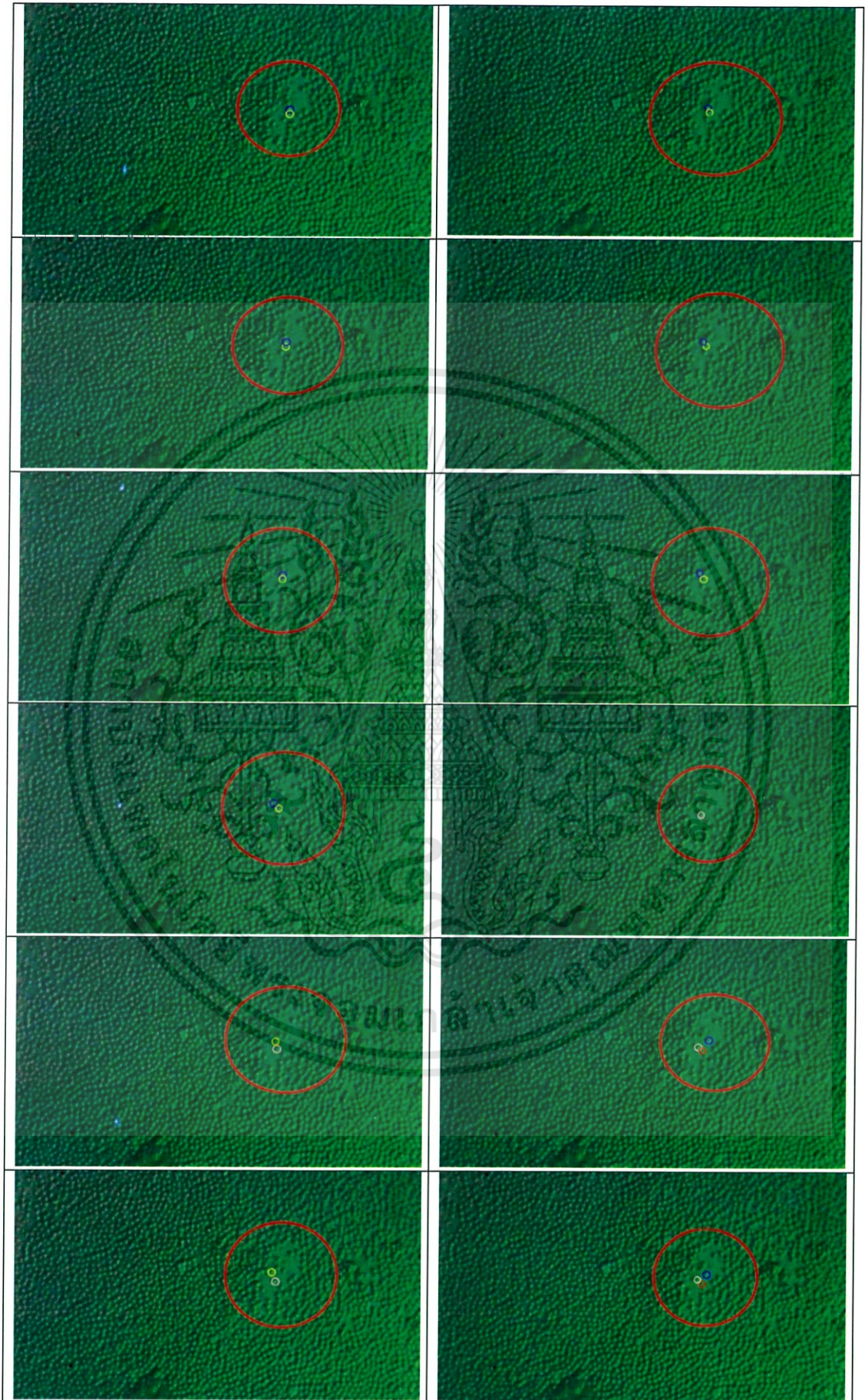
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



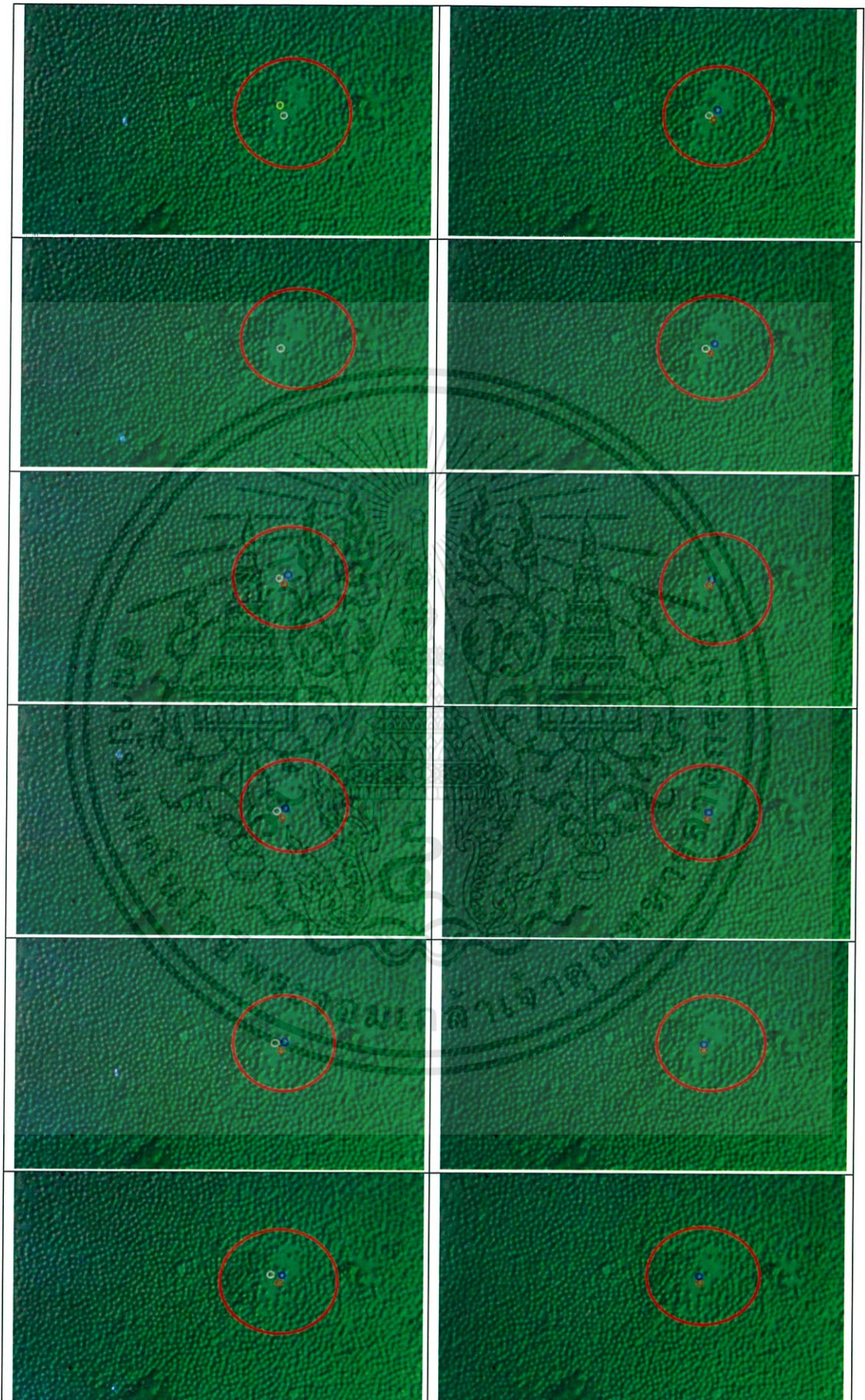
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



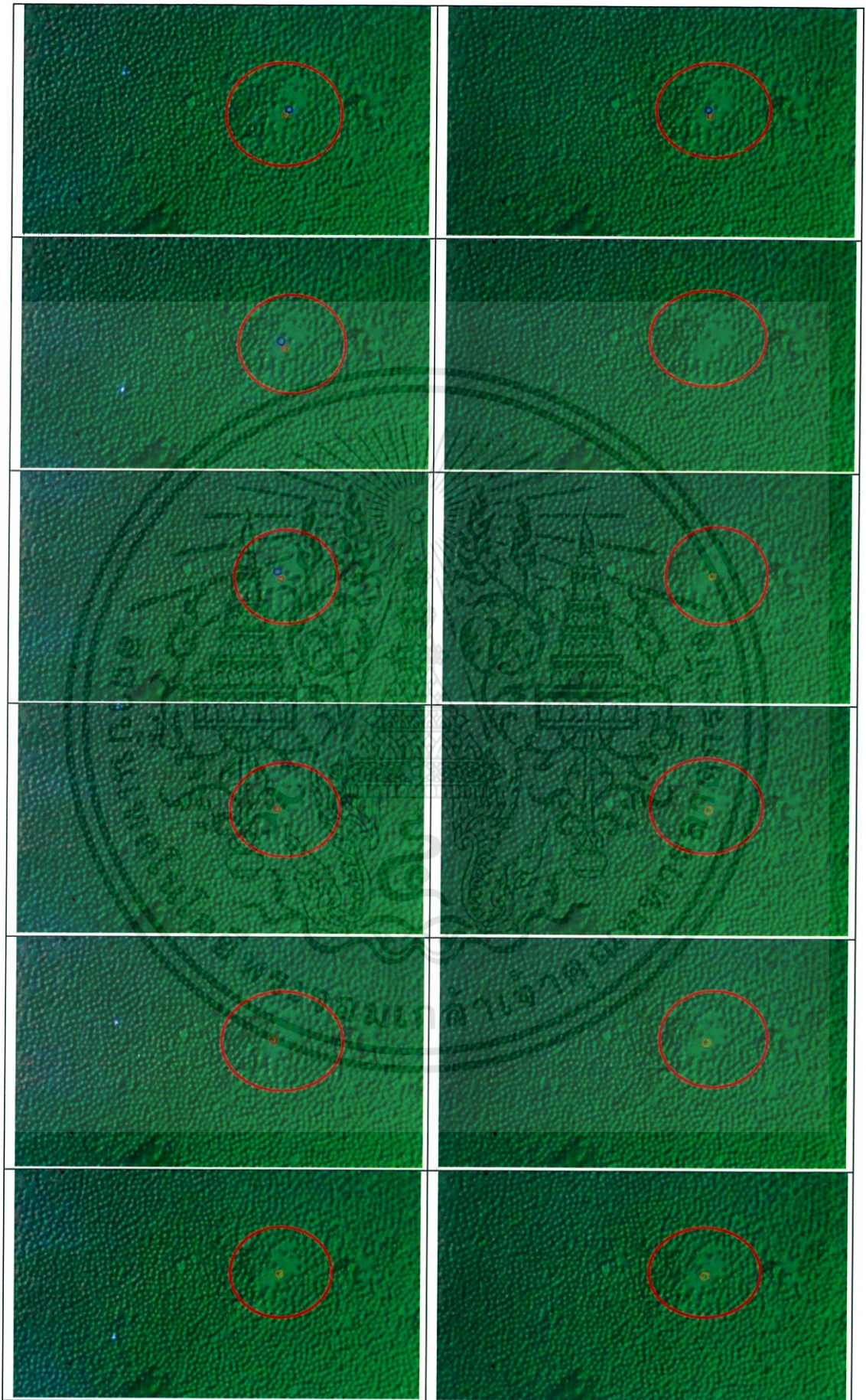
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



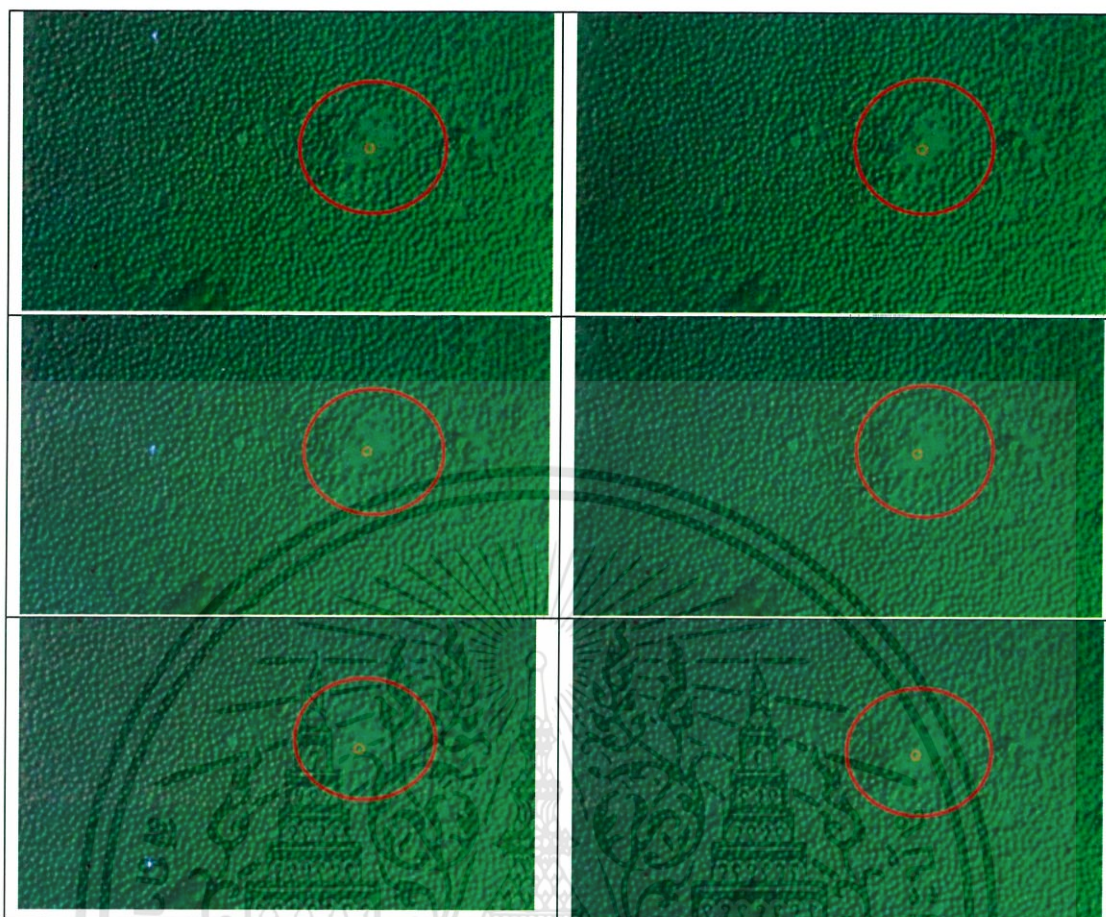
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จากตารางข้างต้นเราจะพบว่า อนุภาค Silicon ขนาด 2 ไมครอน ที่อยู่ภายในวงกลมสีแดง จะเกิดการเคลื่อนที่จากด้านล่างขึ้นไปทางด้านบนเนื่องจากเกิดแรงดึงดูดจากการโฟกัสของแสงเลเซอร์ทำให้อนุภาคถูกดึงเข้าไป ส่วนบางอนุภาคที่หลุดออกมาก็มาจากหลายสาเหตุ หนึ่งในสาเหตุนั้นก็คือการชนกันระหว่างอนุภาค เพราะอนุภาคในการทดลองของเราค่อนข้างมาก จึงทำให้แรงที่จะดึงอนุภาคของแสงเลเซอร์ และกำลังในการดักจับไม่สูงพอทำให้เมื่อเกิดการชนระหว่างอนุภาค ส่งผลให้อนุภาคหลุดออกมาจากจุดโฟกัสของแสงเลเซอร์ได้

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการสร้างและทดลองระบบคีมจับเชิงแสงและระบบดิจิทัลฮอโลกราฟีอย่างง่าย โดยในระบบคีมจับเชิงแสงอย่างง่ายเพื่อจับอนุภาคขนาดเล็กระดับไมครอน เราพบว่าเกิดปัญหาขึ้นอย่างมาก ทั้งการเฝ้าดูและตรวจจับตำแหน่งเนื่องจาก อนุภาคมีขนาดเล็กมากถึงแม้ว่าจะสังเกตการณ์ด้วยเลนส์แบบจุ่มน้ำมัน ที่มีกำลังขยายถึง 100 เท่าแล้วก็ตาม และอนุภาคยังมีการเคลื่อนที่แบบสุ่มตลอดเวลา ทำให้การที่เราจะสังเกตการณ์อนุภาคใดอนุภาคหนึ่งเป็นเรื่องที่ทำได้ยาก แต่อย่างไรก็ตามการทดลองจับอนุภาคก็ประสบความสำเร็จในระดับหนึ่ง โดยเราพบว่าปัจจัยที่อนุภาคหลุดออกจากโฟกัสของการดักจับเกิดจาก

1. การเคลื่อนที่แบบสุ่ม ซึ่งการเคลื่อนที่แบบสุ่มของอนุภาคเราไม่สามารถคาดการณ์ได้ว่าอนุภาคจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางใดด้วยความเร็วและความถี่เท่าไร ซึ่งการเคลื่อนที่บางครั้งก็เกิดการเคลื่อนที่ที่น้อยและเบาบาง แต่การเคลื่อนที่บางครั้งก็เป็นการเคลื่อนที่ที่รุนแรงหนักหน่วง ซึ่งเป็นปัจจัยทำให้อนุภาคหลุดออกจากโฟกัสของการดักจับของคีมจับเชิงแสงได้

2. การชนกันของอนุภาค ในกรณีนี้พบในสารละลายที่มีอนุภาคอยู่มาก อนุภาคที่มีการเคลื่อนที่แบบสุ่มหลายๆอนุภาค ซึ่งบางครั้งการชนกันของอนุภาคก็ทำให้อนุภาคหลุดจากการดักจับได้ เนื่องจากกำลังของเลเซอร์ไม่เพียงพอที่จะดักจับอนุภาคทั้งสองพร้อมๆกัน

ซึ่งผลการทดลองและวิจัยในคีมจับเชิงแสงนั้น จะพบว่า ควรมีการปรับปรุงและพัฒนาวิธีการทำการทดลอง การออกแบบระบบเพื่อให้ได้ผลที่เป็นที่น่าพึงพอใจมากกว่านี้ แต่อย่างไรก็ตามผลที่ได้จากการประยุกต์คีมจับเชิงแสงก็พบว่าเป็นที่น่าพึงพอใจเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่เราจะทำการปรับปรุงและพัฒนา มา ซึ่งก็ถือว่าเป็นการเริ่มต้นที่ดีในการพัฒนาคีมจับเชิงแสงที่มีประสิทธิภาพในระดับที่สูงต่อไป

ส่วนในระบบดิจิทัลฮอโลกราฟีนั้นพบว่าการทำงานทดลองมีปัญหาที่ค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับการวิจัยและพัฒนาคีมจับเชิงแสงมากพอสมควร เนื่องจากในกระบวนการดิจิทัลฮอโลกราฟีเราได้ใช้ Dicotyledon stem ซึ่งวัตถุที่เราใช้ศึกษาทางด้านฮอโลกราฟีนี้ ไม่มีการเคลื่อนที่ทำให้ไม่เกิดปัญหาในการสังเกตการณ์ตัวอย่างนี้ แต่ปัญหาในการทดลองที่เราพบเกิดจากแสงเลเซอร์ เนื่องจากแสงเลเซอร์มีความเป็นอาพันธ์สูงแต่ก็ไม่ได้เป็นอาพันธ์เต็มร้อยเปอร์เซ็นต์ ทำให้เมื่อขยายลำแสง จะทำให้เกิดคลื่นรบกวนของแสงเลเซอร์มีลักษณะไม่เป็นวงกลมอย่างสมบูรณ์ และบางจุดภายในวงของแสงเลเซอร์เราก็พบว่ามีคลื่นรบกวนอยู่บ้างเช่นกัน ซึ่งต่างจากแสงขาวที่เราใช้ในการทดลองคีมจับเชิงแสงเนื่องจากแสงขาวมีความเป็นอาพันธ์น้อยมากจึงทำให้แสงเคลื่อนที่ไม่เป็นเส้นตรงแบบแสงเลเซอร์ แสงขาวจะมีการเคลื่อนที่บานออกเนื่องจากเป็นการเคลื่อนที่ไร้ทิศทางแต่จะพบว่าแสงที่ปล่อยออกมามีลักษณะที่เป็นวงกลมค่อนข้างสมบูรณ์กว่าแสงจากเลเซอร์ ด้วยเหตุนี้การใช้แสงขาวในการทดลองจึงได้ภาพที่ค่อนข้างชัดต่างจากการใช้แสงเลเซอร์ แต่จากการทดลองของเราเราก็สามารถแก้ปัญหานี้ได้ในระดับหนึ่ง ผลการทดลองจึงค่อนข้างเห็นองค์ประกอบสำคัญของวัตถุค่อนข้างชัดเจน

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในขั้นตอนการทดลองในส่วนคิมจับเชิงแสงปัญหาที่เราพบ 2 ส่วนใหญ่ๆก็คือ

1. การที่อนุภาคหลุดออกจากการเคลื่อนที่แบบสุ่มของอนุภาค การแก้ปัญหานี้สามารถแก้ได้โดยการเพิ่มกำลังของแสงเลเซอร์ เพราะว่าเมื่อกำลังของแสงเลเซอร์สูงขึ้นจะส่งผลให้ แรงที่จุดโฟกัสของเลเซอร์กับอนุภาคมีขนาดมากขึ้นทำให้สามารถดักจับอนุภาคได้ดีขึ้น โดยสามารถสังเกตการณ์จากการดักจับอนุภาค ต้องสามารถดักจับอนุภาคได้นานมากขึ้นกว่าเวลาที่ใช้ในการจับอนุภาคโดยใช้กำลังเลเซอร์ที่ต่ำกว่า และอีกแนวทางแก้ไขคือ

การเพิ่มขนาดอนุภาค อนุภาคก็เหมือนวัตถุทั่วไปที่เราสามารถมองเห็นได้ในชีวิตประจำวัน โดยเมื่อเรามองไปที่ปัจจัยที่แท้จริงของการเคลื่อนที่ของวัตถุ เราจะพบหลักการง่ายๆก็คือ วัตถุขนาดใหญ่จะเคลื่อนที่ได้ช้ากว่าวัตถุขนาดเล็ก เช่นเดียวกันในอนุภาคระดับไมครอน อนุภาคขนาดเล็กย่อมมีการเคลื่อนที่แบบสุ่มที่มากกว่าการเคลื่อนที่แบบสุ่มของอนุภาคขนาดใหญ่ แต่วิธีการนี้ก็ถือว่าไม่น่าสนใจเท่ากับวิธีแรกนัก เพราะถึงอนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะมีการเคลื่อนที่ช้าแต่ถ้าอนุภาคมีขนาดใหญ่เกินไปต่อไปเป็นเลเซอร์ที่มีกำลังสูงก็ไม่สามารถดักจับอนุภาคได้ ซึ่งถือว่าเป็นข้อจำกัดอย่างหนึ่ง

2. ความหนืดและการชนกันของอนุภาค การแก้ปัญหานี้สามารถแก้ได้โดย

การเจือจางอนุภาคก่อนนำมาทำการทดลอง วิธีการนี้จะทำให้ได้อนุภาคที่น้อยกว่า ไม่สิ้นเปลือง เพียงพอแก่การใช้งาน และไม่เกิดปัญหาในเรื่องของความหนืดและการชนกันของอนุภาคในตัวอย่างต่างๆ

ในขั้นตอนของการทำดิจิตอลฮอโลกราฟี ปัญหาที่เราพบมี 4 หัวข้อ

1. แสงเลเซอร์เมื่อขยายแสงแล้วจะพบว่ามีความคลื่นรบกวนค่อนข้างมาก ทำให้วงของแสงเลเซอร์เป็นวงกลมที่ไม่สมบูรณ์มากนัก

การแก้ปัญหานี้ทำได้โดยการขยายลำแสงเลเซอร์ ให้มีขนาดใหญ่ และทำการรวมแสงด้วยเลนส์นูน ที่จุดโฟกัสของเลนส์นูนให้นำอุปกรณ์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยและมีรูปร่างเป็นวงกลม เมื่อเทียบกับขนาดของจุดศูนย์กลางโฟกัสของแสงเลเซอร์ วิธีการนี้จะทำให้แสงเลเซอร์ที่ผ่านช่องแคบนี้สามารถลบคลื่นรบกวนหรือนอยส์รอบๆวงของแสงเลเซอร์ได้ โดยจะสังเกตได้เมื่อนำแสงเลเซอร์ที่จัดน้อยส่องออกแล้วมาทำการขยายลำแสง เราจะเห็นรูปร่างที่ได้ของแสงเลเซอร์ค่อนข้างเป็นทรงกลมสมบูรณ์เมื่อเทียบกับแสงเลเซอร์เริ่มต้น

2. จากปัญหาข้อที่ 1. ทำให้การแทรกสอดของคลื่น 2 ขบวนเพื่อทำ ฮอโลกราฟี เกิดการซ้อนทับที่ไม่สมบูรณ์

ถึงแม้จะแก้ปัญหาคข้อที่ 1. แล้วก็ตามแต่การนำเลเซอร์ที่เป็นทรงกลมที่ค่อนข้างสมบูรณ์มาแทรกสอดกันก็ย่อมที่จะเกิดความไม่สมบูรณ์ของทรงกลม อันเนื่องจากการซ้อนทับกันของแสงเลเซอร์ วิธีการนี้แก้ได้โดยการให้แสงเลเซอร์ หลังจากการแทรกสอดเคลื่อนที่ผ่านช่องแคบอีกครั้งเช่นเดียวกับวิธีที่ 1. แสงเลเซอร์ที่ได้ก็จะมีคุณสมบัติของวงกลม และยังเห็นริ้วการแทรกสอดที่ชัดเจนเมื่อทำการขยายลำแสง

3. จากปัญหาข้อที่ 1. และ 2. ทำให้ภาพจากการเกิด ฮอโลแกรมออกมาไม่สมบูรณ์มากนัก

การแก้ปัญหภาพฮอโลแกรมที่ได้ไม่มีความคมชัดในข้อนี้ นั้น เมื่อเราใช้การแก้ปัญหาคในข้อที่

1. มารวมกับการแก้ปัญหาคข้อที่ 2. ภาพที่ได้จากการทดลองก็จะมีคุณภาพคมชัดมากขึ้น

4. ภาพที่ได้ดูไม่เหมือนภาพฮอโลแกรมที่ควรมีความ ลึก ตื้น มีมิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแก้ปัญหาในข้อนี้ที่เราใช้การแก้ปัญหาในข้อที่ 3. มาเป็นส่วนช่วย และนอกจากนั้นการวางวัตถุตัวอย่างที่เราสนใจก็มีส่วนสำคัญ การวางวัตถุตัวอย่างเพื่อทำฮอโลแกรมเพื่อให้เห็นความลึก ตื้น มีมิติ นั้น เราควรวาง วัตถุตัวอย่างให้เอียงสักเล็กน้อย เพื่อให้แสงสามารถเก็บรายละเอียดได้ทั้ง ความยาว ความกว้าง และความสูง เมื่อแสงลำแรกที่เคลื่อนที่ผ่านวัตถุตัวอย่าง แสงจะเคลื่อนที่ผ่าน ส่วนหนาของวัตถุตัวอย่างช้ากว่าส่วนบางของวัตถุตัวอย่าง เมื่อลำแสงเคลื่อนที่ผ่านวัตถุตัวอย่างไปรวมกับ แสงเลเซอร์อ้างอิงอีกลำหนึ่งจะทำให้เกิดภาพนูน ลึก ดุมีมิติขึ้น โดยส่วนที่มีความหนาสีจะ ค่อนข้างทึบเมื่อเทียบกับสีตรงส่วนบางของวัตถุตัวอย่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

KIM, K YOON, J and PARK, Y. 2015. **Simultaneous 3D visualization and position tracking of optically trapped particles using optical diffraction tomography:** Optical Society of America. Retrieved from <https://www.osapublishing.org/optica/abstract.cfm?uri=optica-2-4-343>

Park, J Yu, H Park, J.H. and Park, Y.K. 2014. **LCD panel characterization by measuring full Jones matrix of individual pixels using polarization-sensitive digital holographic microscopy:** Optical Society of America. Retrieved from <https://www.osapublishing.org/oe/abstract.cfm?uri=oe-22-20-24304>

Bhaduri, B Tangella, K and Popescu, G. 2013. **Fourier phase microscopy with white light:** Optical Society of America. Retrieved from <https://www.osapublishing.org/boe/abstract.cfm?uri=boe-4-8-1434>

Khare, K Ali, P.S. and Joseph, J. 2013. **Single shot high resolution digital holography:** Optical Society of America. Retrieved from <https://www.osapublishing.org/oe/abstract.cfm?uri=oe-21-3-2581>

Bhatt, J Bhatt, S Buch, S Singh, R.P. Jaaffrey. S.A. 2013. **Variation of Trapping Strength with Size and Number of Particles in a Single Trap:** Optics and Photonics Journal. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.4236/opj.2013.32029>

Goy, A.S. and Psaltis, D. 2012. **Digital confocal microscope:** Optical Society of America. Retrieved from <https://www.osapublishing.org/oe/abstract.cfm?uri=oe-20-20-22720>

Roy, B Pal, S.B. Haldar, A Gupta, R.K. Ghosh, N and Banerjee, A. 2012. **Probing the dynamics of an optically trapped particle by phase sensitive back focal plane interferometry:** Optical Society of America. Retrieved from <https://www.osapublishing.org/oe/abstract.cfm?uri=oe-20-8-8317>

Pan, F Xiao, W Liu, S Wang, F.J. Rong, L and Li, R. 2011. **Coherent noise reduction in digital holographic phase contrast microscopy by slightly shifting object:** Optical Society of America. Retrieved from <https://www.osapublishing.org/oe/abstract.cfm?uri=oe-19-5-3862>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kim, M.K. 2010. Principles and techniques of digital holographic microscopy: SPIE Reviews. Retrieved from <http://spie.org/Publications/Journal/10.1117/6.0000006>

Micó, V Zalevsky, Z Ferreira, C and García, J. 2008. Superresolution digital holographic microscopy for three-dimensional samples: Optical Society of America. Retrieved from <https://www.osapublishing.org/oe/abstract.cfm?uri=oe-16-23-19260>

Kang, J.W. and Hong, C.K. 2006. Three Dimensional Shape Measurement of Micro Fresnel Lens with In-line Phase-shifting Digital Holographic Microscopy: Optical Society of Korea. Retrieved from <https://www.osapublishing.org/josk/abstract.cfm?uri=josk-10-4-178>

Moon, I Daneshpanah, M Anand, A and Javidi, B. Cell Identification with 3-D Holographic: Optical Society of America. Retrieved from <https://www.osapublishing.org/opn/abstract.cfm?uri=opn-22-6-18>

