รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

คีมจับเชิงแสงอย่างง่ายสำหรับห้องปฏิบัติการ

OPTICAL TWEEZERS FOR LABORATORY

นายธรรมรัตน์ แต่งตั้ง

นายพรประเสริฐ พุทธนรากุล

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ประเภทส่งเสริมนักวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2552

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

คีมจับเชิงแสงอย่างง่ายสำหรับห้องปฏิบัติการ

OPTICAL TWEEZERS FOR LABORATORY

นายธรรมรัตน์ แต่งตั้ง

นายพรประเสริฐ พุทธนรากุล

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ประเภทส่งเสริมนักวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2552

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

125984x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย)คีมจับเชิงแสงอย่างง่ายสำหรับห้องปฏิบัติการ
แหล่งเงินทุน จากเงินรายได้ประเภทส่งเสริมนักวิจัย
ประจำปีงบประมาณ 2552 **จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน**50,000บาท
ระยะเวลาทำการวิจัย 1ปี **ตั้งแต่**ต.ค. 2551**ถึง**ก.ย. 2552
ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัยพร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด
หัวหน้าโครงการนายธรรมรัตน์ แต่งตั้งคณะวิทยาศาสตร์
ร่วมโครงการวิจัยนายพรประเสริฐ พุทธนรากุลคณะวิทยาศาสตร์

บทคัดย่อ

คีมจับเชิงแสงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้หลักการของแรงเนื่องจากแสงเพื่อใช้ในการดักจับอนุภาคขนาดเล็กซึ่งอยู่ในระดับไมโครเมตรจนถึงอนุภาคในระดับนาโนเมตรซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาหลักการพื้นฐานทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์คีมจับเชิงแสงอย่างง่ายจากอุปกรณ์พื้นฐานทางแสงต่างๆที่มีอยู่เพื่อเป็นการทดสอบทฤษฎีและหลักการของคีมจับเชิงแสงโดยการนำอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นไปจับอนุภาคของเม็ดบีดโพลิสไตรีนขนาด 2 ไมโครเมตรที่กำลังเคลื่อนที่อยู่ในของเหลวที่อนุภาคบรรจุอยู่และทำการเฝ้าดูปฏิกิริยาและประสิทธิภาพในการจับอนุภาคของอุปกรณ์คีมจับเชิงแสงที่สร้างขึ้นซึ่งจากผลการทดลองพบว่าจากอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นรวมถึงวิธีการออกแบบและการทดลองทำให้อุปกรณ์สามารถจับอนุภาคที่เคลื่อนที่ให้หยุดอยู่นิ่งกับที่ภายในลำแสงโฟกัสที่สร้างขึ้นจากอุปกรณ์ได้โดยมีลักษณะที่ถูกดึงดูดเข้าไปในลำแสงและสั่นอยู่ภายในลำแสงซึ่งจุดโฟกัสที่สร้างได้สามารถดึงดูดอนุภาคที่ใกล้เคียงที่สุดได้2-3อนุภาคและจะสามารถจับให้อยู่นิ่งได้ในลำแสงเพียงอนุภาคเดียวทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับความเร็วในการเคลื่อนที่ในของเหลวของอนุภาคที่จะจับด้วย

เมื่ออนุภาคถูกจับได้แล้วนั้นการทดลองขั้นต่อไปจะทำโดยการเพิ่มระบบต่างๆที่ช่วยให้อุปกรณ์มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นอาทิ เช่นระบบที่ตรวจจับตำแหน่งของเลเซอร์อุปกรณ์ควบคุม stage และโปรแกรมที่เขียนขึ้นเพิ่มการคำนวณหรือการควบคุมต่างๆซึ่งจากระบบที่กล่าวไปนี้จะสามารถทำให้อุปกรณ์คีมจับเชิงแสงมีประสิทธิภาพที่จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านชีววิทยาขนาดเล็กหรืองานอื่นๆที่เกี่ยวข้องได้จริง

คำสำคัญ : คีมจับเชิงแสง,การควบคุมระดับจุลภาค,เม็ดบีดโพลิสไตล์ลีน,การดักจับอนุภาคขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: OPTICAL TWEEZERS FORLABORATORY
Researcher: Thamarat Taengtung
Faculty: Science **Department:** Applied Physics

ABSTRACT

The optical tweezers system is the powerful tool to trap the particle without touching. In this undergraduate thesis we begin to describe the basic principle theory and the application of the optical tweezers system. The optical tweezers can be applied as a tool to study the mechanical of biological system. In this project, the optical tweezers system had been designed and built by using some basic optical parts and instruments in our laboratory and undergraduate biology laboratory. Then , we showed that our system could be successful for trapping some micro-polystyrene beads. In our experiment we observed that some micro-polystyrene beads were moving toward the focused laser spot , when the beads were moving closed to the spot.

In the future the new advance system may be improved from this system by adding some optical instruments such as a position detector , micro-stage controlled by computer program. This new system can be use to study the mechanics of the biological system with higher efficiency than that of original one.

Keyword: optical tweezers, polystyrene beads ,Optical Trapping

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงงานพิเศษนี้จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงได้หากไม่ได้รับความร่วมมือคำปรึกษาและความอนุเคราะห์จากอาจารย์ดังนี้ ดร.ประธาน บุรณศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมในการทำโครงงานพิเศษรวมไปถึงงานวิจัยและข้อมูลของผู้ที่เคยได้ทำการศึกษาค้นคว้ามาแล้วอาทิ เช่นบทความวิจัยของดร. ศรัณย์ สัมฤทธิ์เดชขจรและ พ.ต.สุวัฒน์ วงศ์จันทร์ฉาย แสงซึ่งเป็นประโยชน์ในการค้นคว้าข้อมูลต่อผู้ทำการทดลองเป็นอย่างสูง รวมไปถึงสาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์และอาจารย์ท่านอื่นที่ไม่ได้กล่าวนามทุกท่านที่ได้ให้ความร่วมมือความช่วยเหลือและคำแนะนำในการทำโครงงานพิเศษในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำและติดตามดูแลการทำโครงงานพิเศษนี้ให้ลุล่วงได้ด้วยดีขอขอบพระคุณไว้ณที่นี้

นายธรรมรัตน์ แต่งตั้ง
นายพรประเสริฐ พุทธนรากุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 หลักการโดยทั่วไป	4
2.2 อนุภาคเมียร์	4
2.3 อนุภาคเรย์ลีห์	5
2.3.1 แรงเกรเดียนท์	6
2.3.2 แรงกระเจิง	
2.4 คีมจับเชิงแสงแบบออปติกส์ในอากาศ	6
2.4.1 เลเซอร์สำหรับจับอนุภาค	7
2.4.2 เลนส์วัตถุกล้องจุลทรรศน์	8
2.4.3 อุปกรณ์บังคับตำแหน่งคีมจับเชิงแสง	8
2.4.3.1 การเลื่อนระนาบตัวอย่าง	8
2.4.3.2การบังคับทิศทางของลำแสง	8
2.4.3.3 การใช้วิธีการโฮโลกราฟิก	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4.4 อุปกรณ์บันทึกภาพและตำแหน่งของอนุภาค	9
2.4.4.1 บันทึกภาพระนาบตัวอย่างโดยตรง	9
2.4.4.2 การบันทึกตำแหน่งที่ระนาบโฟกัสด้านหลัง	9
2.5 การใช้คีมจับเชิงแสงในการวัดแรง	9
2.6 คีมจับเชิงแสงแบบใช้ใยแก้วนำแสง (Fiber Optical tweezers)	10
2.7 คีมจับเชิงแสงแบบติดตั้งในเซลล์ของไหล	11
2.8 การประยุกต์ใช้งานคีมจับเชิงแสง	11
2.8.1 การศึกษาด้านชีววิทยาในระดับเซลล์	11
2.8.2 การศึกษาด้านชีววิทยาระดับโมเลกุล	12
2.8.3 การศึกษาไคเนซิน	13
2.8.4 การศึกษาอาร์เอ็นเอโพลิเมอเรส	13
2.8.5 การประยุกต์ใช้ในทางเคมี	14
2.8.5.1 การศึกษาเกี่ยวกับคอลลอยด์	14
2.8.5.2 การสร้างโครงสร้างระดับไมโครและนาโน	15
2.8.5.3 การทำสเปกโตรสโคปีกับโมเลกุล	16
2.9 เทคโนโลยีอื่นที่น่าสนใจเกี่ยวกับคีมจับเชิงแสง	16
2.9.1 เครื่องคัดแยกอนุภาคโดยใช้ผลึกของกับดักเชิงแสง	17
2.9.2 คีมจับเชิงแสงในการทำเครื่องตรวจจับ (Sensors)	18
2.9.3 เครื่องตรวจหาเซลล์มะเร็ง (Leipzig)	18
2.9.4 เครื่องตรวจจับเชื้อไวรัสและอนุภาคระดับนาโนเมตร	19
2.10 แนวโน้มการพัฒนาคีมจับเชิงแสง	21
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	22
3.1 ออกแบบและวางแผนการสร้างอุปกรณ์คีมจับเชิงแสง	22
3.2 การออกแบบและการคำนวณระบบ Beam Expander	22
3.3 การหาตำแหน่งของอนุภาคที่จุดโฟกัส	23
3.4 การเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	24
3.5 วิธีการและขั้นตอนการดำเนินงาน	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	26
4.1 ลักษณะของสารตัวอย่างโพลีสไตรลีนที่ใช้ Inverted Microscope เลนส์ขนาดต่างๆ	26
4.1.1 Inverted Microscope เลนส์ขนาด 10X	26
4.1.2 Inverted Microscope เลนส์ขนาด 20X	27
4.1.2 Inverted Microscope เลนส์ขนาด 40X	28
4.1.2 Inverted Microscope เลนส์ขนาด 100X (Immersion Objective Lens)	29
4.2 การจัดอุปกรณ์ Two Lens system เพื่อสร้างระบบ Beam Expander	30
4.2.1การคำนวณระยะห่างระหว่างเลนส์	31
4.2.2ผลการทดลองที่ได้จากการจัดอุปกรณ์ Beam expander	32
4.3 ระบบ Optical Tweezers System	32
4.3.1 การจัดแนวของแสงและวิเคราะห์ปัญหาที่พบจากการจัดอุปกรณ์	33
4.4 การจับอนุภาค	35
4.4.1 อภิปรายผลการทดลองการจับอนุภาคจากตารางที่ 1	35
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	37
5.1สรุปผลการวิจัย	37
5.2 ข้อเสนอแนะในการสร้างอุปกรณ์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น	37
เอกสารอ้างอิง	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงการดำเนินงานวิจัย	3
3.1 ผลที่ได้จากการหักเหของลำแสง	24
4.1 ผลการทดลองแสดงภาพลักษณะอนุภาคที่ถูกจับ ณ เวลาต่างๆ	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 2.1 แรงที่เกิดจากการหักเหของแสงผ่านอนุภาคเมียร์	5
ภาพที่ 2.2 อุปกรณ์ทดลองคีมจับเชิงแสงแบบออปติกส์ในอากาศ	7
ภาพที่ 2.3 การบังคับตำแหน่งของคีมจับเชิงแสงโดยการเปลี่ยนทิศทางของแสง	8
ภาพที่ 2.4 คีมจับเชิงแสงแบบใช้ใยแก้วนำแสง	10
ภาพที่ 2.5 การประยุกต์ใช้คีมจับเชิงแสงในเซลล์สิ่งมีชีวิต	11
ภาพที่ 2.6 การศึกษาการเคลื่อนที่ไปตามท่อไมโครทูบูลของไคเนซิน	13
ภาพที่ 2.7 การศึกษาอาร์เอ็นเอโพลิเมอเรส	14
ภาพที่ 2.8 การศึกษาแรงที่เกิดขึ้นระหว่างอนุภาคคอลลอยด์	14
ภาพที่ 2.9 การจัดเรียงอนุภาคคอลลอยด์เป็นรูปทรงสามมิติ 5 เหลี่ยมถึง 8 เหลี่ยม	15
ภาพที่ 2.10 ตัวอย่างการสร้างโครงสร้างระดับไมโครและนาโน	16
ภาพที่ 2.11 แผนผังเครื่องคัดแยกอนุภาคระดับไมโคร-นาโนเมตรของมหาวิทยาลัยเซนต์แอนดรู	17
ภาพที่ 2.12 แผนผังเครื่องคัดแยกอนุภาคจากมหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย	18
ภาพที่ 2.13 การศึกษาเซลล์มะเร็ง	19
ภาพที่ 2.14 แผนผังแสดงเครื่องตรวจจับเชื้อไวรัสและอนุภาคระดับนาโนเมตร	20
ภาพที่ 3.1 แสดงแผนภาพการจัดอุปกรณ์คีมจับเชิงแสง	22
ภาพที่ 3.2 แสดงการทำงานของ Beam Expander	22
ภาพที่ 3.3 การหาตำแหน่งของจุดโฟกัสที่ใช้จับอนุภาค	23
ภาพที่ 4.1 แสดงลักษณะของเม็ดโพลีสไตรลีนที่ส่องด้วย Inverted Microscope เลนส์ขนาด 10X	26
ภาพที่ 4.2 แสดงลักษณะของเม็ดโพลีสไตรลีนที่ส่องด้วย Inverted Microscope เลนส์ขนาด 20X	27
ภาพที่ 4.3 แสดงลักษณะของเม็ดโพลีสไตรลีนที่ส่องด้วย Inverted Microscope เลนส์ขนาด 40X	28
ภาพที่ 4.4 แสดงลักษณะของเม็ดโพลีสไตรลีนที่ส่องด้วย Inverted Microscope เลนส์ขนาด 100X	29
ภาพที่ 4.5 แสดงลักษณะการจัดอุปกรณ์ Beam Expander	30
ภาพที่ 4.6 ขนาดของแสงเลเซอร์ก่อน (ก) และหลัง (ข) จากผ่านเข้าอุปกรณ์ Beam Expander	31
ภาพที่ 4.7 แสดงอุปกรณ์คีมจับเชิงแสงที่จัดทำขึ้น	32
ภาพที่ 4.8 ลักษณะการวางตำแหน่งและการจัดมุมของอุปกรณ์ต่างๆ	33
ภาพที่ 5.1 การออกแบบเพื่อปรับปรุงระบบคีมจับเชิงแสงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น	38
ภาพที่ 5.2 แสดงไดอะแกรมของวงจรตรวจจับตำแหน่งของแสงเลเซอร์	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ความก้าวหน้าของวิทยาการและเทคโนโลยีต่างๆในปัจจุบันนั้นมาจากศึกษาพื้นฐานความรู้ทางวิทยาศาสตร์ฟิสิกส์คณิตศาสตร์เคมีชีววิทยาพันธุศาสตร์หรือศาสตร์อื่นๆที่เป็นการผสมกันระหว่างศาสตร์ที่ได้กล่าวไปข้างต้นนี้ซึ่งจะเห็นได้ชัดว่ามีความเกี่ยวข้องกันยิ่งนับวันเราได้ศึกษาระบบที่ยิ่งเล็กลงไปเรื่อยๆ เราก็ยิ่งจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่มีความสามารถสูงเพื่อใช้ในการศึกษาระบบเหล่านั้นซึ่งหลักการหนึ่งที่นำมาใช้ในการศึกษาสิ่งที่เล็กมากๆหรือระบบที่เล็กมากๆ คือการใช้แสงจับอะตอมหรืออนุภาคที่เราต้องการศึกษาซึ่งอาจจะมีขนาดอยู่ในระดับไมโครเมตรนาโนเมตรหรือเล็กกว่านั้นตัวอย่างเช่นการศึกษาเซลล์ของสิ่งมีชีวิตแบคทีเรียไวรัสเม็ดแก้วใสหรือเม็ดโลหะขนาดเล็ก เป็นต้นซึ่งวิธีการหนึ่งที่ใช้นั้นก็คือวิธีการใช้แสงจับอนุภาคที่เรียกกันว่าคีมจับเชิงแสง (Optical Tweezers) หลักการนี้ถูกคิดค้นและทดลองโดย Dr. Arthur Ashkin เมื่อปีค.ศ.1970 และในปัจจุบันหลักการของคีมจับเชิงแสงนี้เป็นวิธีการที่มักจะถูกใช้ในการศึกษาระบบทางชีววิทยาอย่างแพร่หลายอีกด้วยจึงเป็นผลดีที่เราได้นำความรู้จากหลายๆศาสตร์ซึ่งอาจดูแยกจากกันโดยเนื้อหาอย่างเช่น ฟิสิกส์และชีววิทยาแต่เราสามารถที่จะนำมาความรู้ที่ได้จากศาสตร์หนึ่งประยุกต์ใช้งานร่วมกับอีกศาสตร์หนึ่งได้อย่างลงตัวเพื่อแก้ปัญหาและสร้างนวัตกรรมจากการเรียนรู้ไปพร้อมกัน

หลักการทำงานของคีมจับเชิงแสงเป็นสิ่งที่ค่อนข้างเข้าใจได้ยากว่าทำไมแสงถึงสามารถที่จะจับอนุภาคได้อย่างเช่นเครื่องมือเชิงกลต่างๆนั้นอาจเป็นคำถามว่าแสงเอาแรงมาจากไหนในการจับอนุภาคเล็กๆเหล่านี้ให้หยุดอยู่กับที่ได้ทั้งๆที่โฟตอนหรืออนุภาคของแสงนั้นไม่มีมวลหลักการก็คือจะอาศัยการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของสิ่งเล็กๆหรือระบบเล็กๆที่เราต้องการจับนั้นเอง

ซึ่งในกรณีนี้โมเมนตัมที่เปลี่ยนไปจะขึ้นอยู่กับชนิดของอนุภาคเล็กๆหรือระบบที่เราต้องการศึกษาหรือที่ต้องการจะจับว่ามีคุณสมบัติทางแสงเป็นอย่างไรวัตถุรอบข้างของอนุภาคก็เช่นกันและกำลังของแสงที่ใช้ในการจับด้วย โดยที่ถ้าหากใช้แสงที่มีกำลังประมาณ 10 มิลลิวัตต์แรงที่ได้จะอยู่ในระดับพิโคนิวตันซึ่งโดยทฤษฎีแล้วก็มีกำลังมากพอที่จะสามารถจับอนุภาคในระดับไมโครถึงระดับนาโนได้

แรงที่เกิดจากแสงนี้จะเกิดขึ้นเมื่อเราโฟกัสลำแสงลงไปใกล้ๆกับอนุภาคที่เราต้องการจะจับที่มีความโปร่งใสระดับหนึ่งเพื่อให้แสงสามารถหักเหเข้าไปภายในและสะท้อนที่พื้นผิวได้ยกตัวอย่างเช่นเมื่อแสงหักเหจากซ้ายไปขวาผ่านเข้าไปภายในอนุภาคเล็กๆนี้ก็จะเกิดแรงปฏิกิริยาย้อนกลับจากขวาไปซ้ายด้วยตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตันซึ่งเมื่อคำนวณทางคณิตศาสตร์แล้วแรงลัพธ์ที่เกิดขึ้นจะมีทิศเข้าหาจุดโฟกัสหรือจุดที่มีความเข้มสูงสุดของเลเซอร์นั้นเองซึ่งอนุภาคก็จะอยู่ในสภาพที่คล้ายกับว่าถูกจับเอาไว้ภายในลำเลเซอร์นั้นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงที่เกิดขึ้นมีสองแบบแบบแรกเป็นแรงกระเจิง (Scattering force) ที่มีทิศทางขนานกับทิศทางของแสงตกกระทบส่วนแรงอีกชนิดหนึ่งเรียกว่าแรงเกรเดียนท์ (Gradient force) ซึ่งมีทิศทางตั้งฉากกับทิศทางของแสงตกกระทบและพุ่งเข้าสู่บริเวณที่มีกำลังของแสงสูงสุด (แสงเลเซอร์ส่วนใหญ่จะมีกำลังของแสงสูงสุดที่บริเวณกลางลำแสงและค่อยๆลดลงออกมาตามแนวรัศมี) ใ นกรณีที่อนุภาคขนาดเล็กอยู่ในตำแหน่งที่เยื้องไปจากจุดโฟกัสของลำแสงจะทำให้มันถูกดึงเข้าไปให้อยู่ในแนวเดียวกับจุดโฟกัสของแสงด้วยแรงเกรเดียนท์ซึ่งณตำแหน่งนี้ผลรวมของแรงเกรเดียนท์จะเป็นศูนย์ทำให้อนุภาคขนาดเล็กเคลื่อนไปทางด้านข้างได้ยากขึ้นหลังจากที่อนุภาคขนาดเล็กอยู่ตรงกลางแล้วเราก็สามารถใช้แรงกระเจิงมาช่วยในการทำให้อนุภาคขนาดเล็กนั้นลอยขึ้นเหนือฐานรองรับได้ซึ่งต้องเอาชนะแรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำกับอนุภาคขนาดเล็กนี้ด้วย

แรงกระเจิงที่ได้จากแสงยังสามารถนำมาใช้ในลักษณะของคีมจับคือ อนุภาคขนาดเล็กนี้อาจจะเคลื่อนที่ไปมาและเราสามารถนำคีมจับเชิงแสงนี้มาทำให้อนุภาคเหล่านั้นหยุดและติดอยู่กับคีมจับเชิงแสงนี้ทำให้เราสามารถเคลื่อนมันไปในที่ต่างๆที่ต้องการได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.เพื่อศึกษาหลักการพื้นฐานทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและการทำงานต่างๆของคีมจับเชิงแสง
2.เพื่อสามารถออกแบบการสร้างอุปกรณ์คีมจับเชิงแสงและการทดลองอย่างง่ายได้
3.สามารถนำอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นไปประยุกต์ใช้งานในด้านชีววิทยาในด้านต่างๆที่เกี่ยวข้อง
4.สามารถปรับปรุงแก้ไขและพัฒนาระบบคีมจับเชิงแสงให้ดีขึ้นได้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ในโครงงานนี้จะมุ่งเน้นการศึกษาลำแสงที่มีผลต่อการจับอนุภาคที่ต้องการศึกษาและออกแบบอุปกรณ์คีมจับเชิงแสงอย่างง่ายเพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริงและสามารถวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองรวมถึงการแก้ไขปรับปรุงอุปกรณ์ให้ดีขึ้นได้

1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีดำเนินงาน

1.4.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับหลักการทำงานของคีมจับเชิงแสงต่างๆว่ามีทฤษฎีใดบ้างที่เกี่ยวข้องหลักการทำงานเบื้องต้นและอุปกรณ์พื้นฐานที่จำเป็นต้องใช้งานในการสร้างและศึกษาผลและการทดลองที่ผ่านมาของผู้ที่ได้ทำการทดลองมาแล้วเพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงรวมทั้งโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณหรือจำลองแบบจำลองต่างๆด้วย

2. วางแผนการสร้างชุดทดลองคีมจับเชิงแสงอย่างง่ายพร้อมสรุปทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการออกแบบการทำงานของอุปกรณ์และออกแบบการทดลองเพื่อใช้ในการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์คีมจับเชิงแสงที่ออกแบบขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จัดเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างคีมจับเชิงแสงและเริ่มทำการสร้างและติดตั้งอุปกรณ์ทางแสงต่างๆที่ใช้งานกับการสร้างคีมจับเชิงแสงที่ได้ออกแบบไว้

4. ทำการทดลองและวัดผลการทำงานของคีมจับเชิงแสงที่สร้างขึ้นและนำผลการทดลองที่ได้ไปเปรียบเทียบกับทฤษฎีหรือผลการทดลองของผู้ที่ทำการศึกษาก่อนหน้านี้เพื่อนำมาวิเคราะห์และทำการปรับปรุงแก้ไขและพัฒนาอุปกรณ์ในส่วนต่างๆเพื่อประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น

5. ส รุปผลการทำงานและการทดลองต่างๆและรายงานผลการทดลองที่ได้พร้อมกับอุปกรณ์คีมจับเชิงแสงที่เสร็จสมบูรณ์พร้อมที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

1.4.2 ตารางการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แสดงการดำเนินงานวิจัย

ระยะเวลาการดำเนินงาน	กิจกรรม
มิถุนายน 2554	ศึกษาที่มาและความสำคัญ
กรกฎาคม 2554	ศึกษาทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง
สิงหาคม 2554	วางแผนและออกแบบวิธีการดำเนินงานวิจัย
กันยายน-ตุลาคม 2554	ดำเนินการสร้างอุปกรณ์และศึกษาการทำงานจริง
พฤศจิกายน 2554	ออกแบบการจัดอุปกรณ์และการทดลอง
ธันวาคม 2554	สั่งซื้ออุปกรณ์และการศึกษาอุปกรณ์ที่ใช้งาน
มกราคม 2555	สร้างอุปกรณ์คีมจับเชิงแสง
กุมภาพันธ์ 2555	ทำการศึกษาทดลองและแก้ไขการทำงาน
มีนาคม-เมษายน 2555	สรุปผลการทดลองและเขียนรายงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

อุปกรณ์คีมจับเชิงแสงอย่างง่ายที่ใช้งานได้เพื่อสามารถใช้ในการศึกษาระบบที่สำคัญต่างๆโดยเฉพาะการประยุกต์ใช้งานด้านชีววิทยา เช่นการศึกษาทางกลศาสตร์ของเซลล์มอเตอร์โมเลกุลดีเอ็นเอหรือระบบอย่างอื่นที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติการทำงานของคีมจับเชิงแสงที่สามารถประยุกต์ใช้ได้ทั้งยังสามารถปรับปรุงเปลี่ยนแปลงและแก้ไขระบบการทำงานของคีมจับเชิงแสงที่สร้างขึ้นเพื่อให้อุปกรณ์มีความสะดวกเหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับการใช้งานต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการโดยทั่วไป

คีมจับเชิงแสงใช้หลักการหลักพื้นฐานในวิชาฟิสิกส์เรียกว่าความดันรังสี (radiation pressure) ซึ่งเป็นที่รู้จักกันมาตั้งแต่สมัยศตวรรษที่ 17 เมื่อ Johannes Kepler อธิบายปรากฏการณ์ที่หางของดาวหางชี้ไปในทิศทางตรงข้ามกับดวงอาทิตย์เสมอว่าแรงดันรังสีจากแสงอาทิตย์เป็นตัวผลักอนุภาคในกลุ่มหมอกเหล่านั้นโดยที่ในปี 1905 อัลเบิรต์ไอสไตน์ ได้อธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็ก-ทริกว่าแสงและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอื่นๆประกอบด้วยอนุภาคเรียกว่าโฟตอนซึ่งมีโมเมนตัม

$$p = \frac{h}{\lambda} \qquad (2.1)$$

โดยที่ p คือ โมเมนตัมของแสง

h คือ ค่าคงที่ของพลังค์

λ คือ ความยาวคลื่นแสง

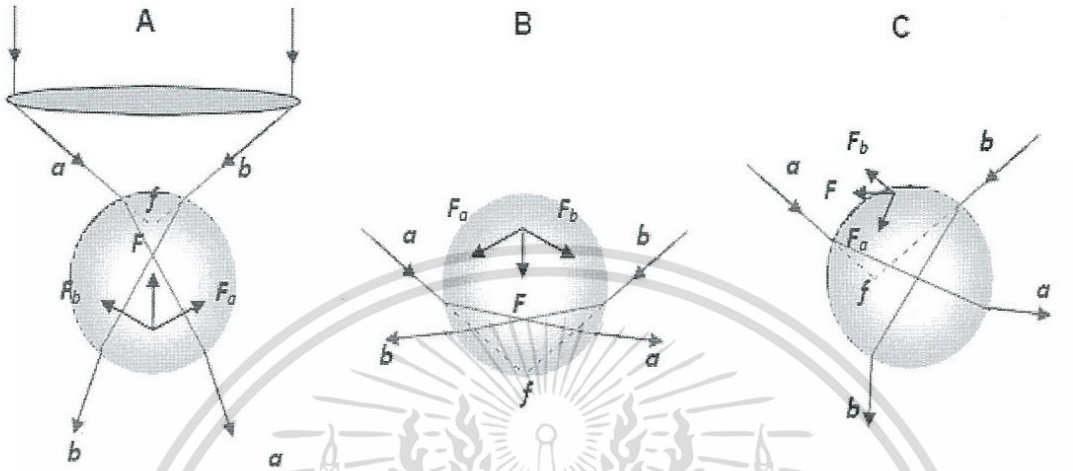
เมื่อแสงตกกระทบวัตถุใดๆจะมีการถ่ายเทโมเมนตัมของโฟตอนให้แก่วัตถุจึงมีแรงกระทำต่อวัตถุสำหรับแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนโลกมีความเข้มน้อยมีความดันรังสีประมาณ 0.5 nN/cm^{2}เราจึงไม่รู้สึกว่าถูกแสงผลักเมื่อยืนตากแดดสำหรับคีมจับเชิงแสงใช้การโฟกัสแสงเลเซอร์ที่มีกำลังสูงลงบนจุดเล็กๆแรงจากความดันรังสีจึงมีค่ามากพอที่จะทำให้อนุภาคเล็กๆเคลื่อนที่ได้ในการอธิบายหลักการทำงานของคีมจับเชิงแสงเราจะจำแนกอนุภาคออกเป็นสองชนิดตามขนาดได้แก่ อนุภาคมาย (Mie particle) เป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่นของแสงมากๆ ($d >> \lambda$) และอนุภาคเรย์ลีห์ (Rayleigh particle) คือ อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นของแสงมากๆ ($d << \lambda$)

2.2 อนุภาคเมียร์

อนุภาคเมียร์เป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่นของแสงมากๆเราจะอธิบายการดักจับอนุภาคมายด้วยคีมจับเชิงแสงจากการหักเหและสะท้อนของแสงบริเวณพื้นผิวของอนุภาคจากรูปที่ 2.1 เลนส์วัตถุของกล้องจุลทรรศน์จะทำการรวมแสงเลเซอร์เข้าหาจุดโฟกัส (f) ให้พิจารณาเฉพาะรูปที่ 2.1(A) ซึ่งตำแหน่งของอนุภาคอยู่เลยจุดโฟกัสปกติของเลนส์ไปทางด้านล่างจะเห็นว่าลำแสง a มีการหักเหสองครั้งที่พื้นผิวทั้งสองด้านของอนุภาค (ในกรณีนี้อนุภาคที่มีดรรชนีหักเหของวัตถุมากกว่าของตัวกลางซึ่งเป็นกรณีที่มักจะเกิดขึ้นทั่วไป) เมื่อลำแสง a พุ่งออกจากอนุภาคจะมีทิศเบนไปในทิศล่างซ้ายของทิศทางเดิมแสดงว่าแสงมีโมเมนตัมเพิ่มขึ้นในทิศล่างซ้ายจากหลักการอนุรักษ์โมเมนตัมจะได้ว่าต้องมีแรงปฏิกิริยา Fa กระทำต่ออนุภาคในทิศบนขวาในทำนองเดียวกันการหักเหของลำแสง b ทำให้เกิดแรง Fb ในทิศบนซ้ายแรงลัพธ์ F ซึ่งเกิดจากผลรวมของแรงลำแสงเลเซอร์ทั้งหมดจะมีทิศขึ้นและเข้าหาจุดโฟกัสถ้าพิจารณาจากรูปที่ 2.1 (B และ C) จะเห็นว่าไม่ว่าอนุภาคจะอยู่ในตำแหน่งใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงลัพธ์ F ที่กระทำต่ออนุภาคจะมีทิศพุ่งเข้าหาจุดโฟกัสของเลนส์ซึ่งทำให้เกิดการดักอนุภาคเข้าสู่จุดโฟกัสในความเป็นจริงแล้วการสะท้อนของแสงที่ผิวอนุภาคทำให้เกิดแรงในทิศผลักออกจากจุดโฟกัสเพียงแต่แรงนี้มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับแรงที่เกิดจากการหักเหของแสงเนื่องจากมีการสะท้อนน้อย



ภาพที่ 2.1 แรงที่เกิดจากการหักเหของแสงผ่านอนุภาคเมียร์

2.3 อนุภาคเรย์ลีห์

อนุภาคเรย์ลีห์มีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับความยาวคลื่นแสงดังนั้นแรงเนื่องจากการหักเหและการสะท้อนมีค่าน้อยมากและค่าแรงทั้งสองแทบไม่ต่างกันเลยเราจึงต้องอธิบายการทำงานของคีมจับเชิงแสงต่ออนุภาคเรย์ลีห์โดยใช้หลักการของไดโพลในหลักการนี้มีแรงที่เกี่ยวข้องคือ แรงเกรเดียนท์ (gradient force) และแรงกระเจิง (scattering force)

2.3.1 แรงเกรเดียนท์

เกิดจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำทำให้เกิดการแยกตัวระหว่างประจุบวกและลบภายในอนุภาคกลายเป็นไดโพลจากนั้นไดโพลจะถูกดึงดูดเข้าหาจุดที่มีความเข้มของแสงสูงซึ่งก็คือจุดโฟกัสนั่นเอง แรงเกรเดียนท์มีค่า

$$F_{grad} = \frac{\alpha}{2} \nabla \left\langle E^2 \right\rangle \tag{2.2}$$

เมื่อ

$$\alpha = n^2{}_m r^3 \left(\frac{m^2 - 1}{m^2 + 1} \right) \tag{2.3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $\nabla\langle E^2\rangle$ คือ ผลเฉลี่ยของสนามไฟฟ้ากำลังสอง n และ n_m คือดรรชนีหักเหของอนุภาค และตัวกลางตามลำดับและ m = n/nm คือ ดรรชนีหักเหเปรียบเทียบและ r คือรัศมีของอนุภาค

2.3.2 แรงกระเจิง

เกิดจากการที่อนุภาคดูดกลืนแสง (absorption) และมีการกระเจิงของแสงออกมาจากอนุภาคในทุกทิศทุกทาง (scattering) ทำให้เกิดการถ่ายเทโมเมนตัมให้แก่อนุภาคแรงกระเจิงมีทิศทางเดียวกับการแผ่รังสีของแสงแต่มีค่าน้อยกว่าแรงเกรเดียนท์มากวัตถุจึงมีแนวโน้มที่จะถูกผลักเข้าหาจุดโฟกัสแรงกระเจิงมีค่า

$$F_{scatt} = n_m \frac{\langle S \rangle \sigma}{c} \tag{2.4}$$

เมื่อ

$$\sigma = \frac{8}{3}\pi\left(kr^4\right)r^2\left(\frac{m^2-1}{m^2+1}\right)^2 \tag{2.5}$$

โดยที่ $\langle S \rangle$ คือ ผลเฉลี่ยของพอยติ้งเวกเตอร์ c คือความเร็วแสงและ $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ คือเลขคลื่นของเลเซอร์ในทางปฏิบัติอนุภาคที่ถูกดักจับจะมีขนาด 100 nm ถึง 10 μm ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่างอนุภาคเรย์ลีห์และเมียร์ดังนั้นจะต้องนำหลักการทั้งสองอย่างมารวมกันและใช้การคำนวณทางพีชคณิต (numerical calculation)

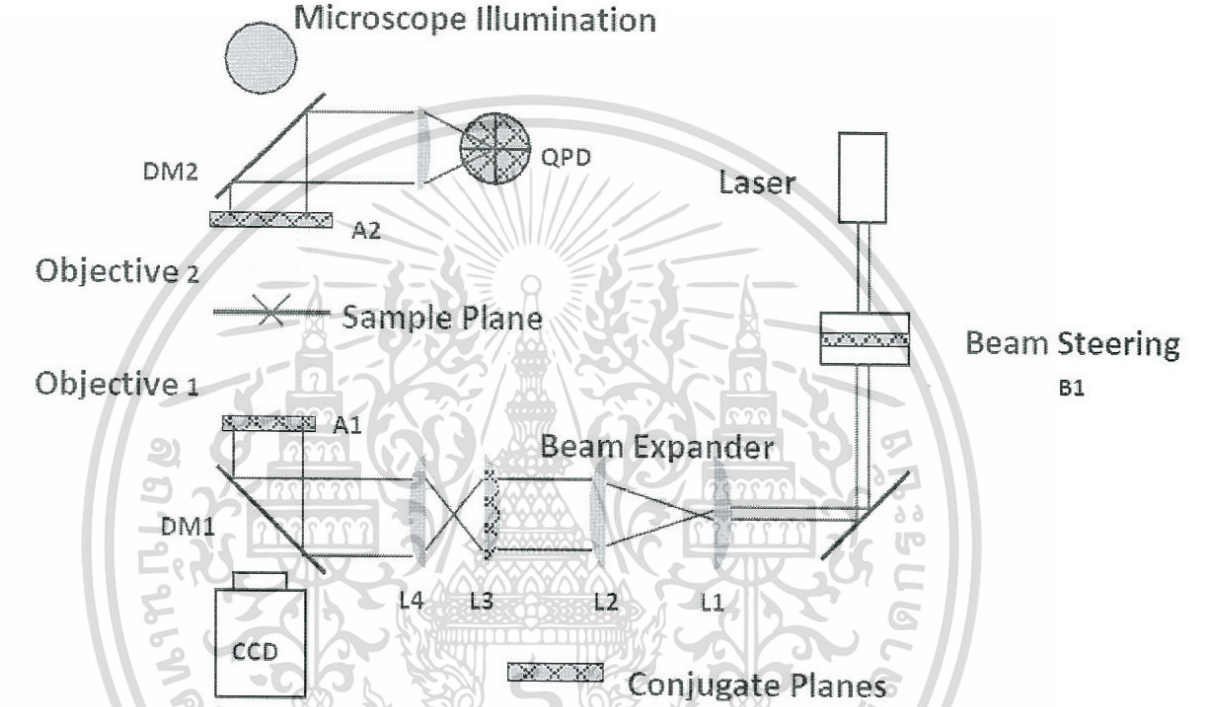
2.4 คีมจับเชิงแสงแบบออปติกส์ในอากาศ (Free space optical tweezers)

หลักการสำคัญของคีมจับเชิงแสงแบบออปติกส์ในอากาศนี้คือการโฟกัสลำแสงเลเซอร์ลงบนระนาบตัวอย่างโดยเลนส์วัตถุของกล้องจุลทรรศน์รูปที่ 2.2 แสดงผังอุปกรณ์ทดลองของคีมจับเชิงแสงแบบออปติกส์ในอากาศที่ใช้กันทั่วไปสำหรับรายละเอียดของอุปกรณ์ต่างๆของคีมจับเชิงแสงในแต่ละการทดลองอาจแตกต่างกันขึ้นอยู่กับอนุภาคที่จะจับและการประยุกต์ใช้งานแต่อุปกรณ์สำคัญๆมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 เลเซอร์สำหรับจับอนุภาค

เลเซอร์ที่ใช้ควรมีโหมด TEM 00 มีกำลังตั้งแต่ 10 มิลลิวัตต์จนถึงหลายวัตต์ความหนืบของคีมจับจะขึ้นอยู่กับกำลังของเลเซอร์ที่ใช้โดยทั่วไปแล้วจะได้ความหนืบ 0.15 pN/nm ต่อกำลังเลเซอร์ 1 W ที่ระนาบตัวอย่างความยาวคลื่นของเลเซอร์ที่ใช้ขึ้นอยู่หลายปัจจัยการดูดกลืนแสงของเลนส์ตัวอย่างและตัวกลาง



ภาพที่ 2.2 อุปกรณ์ทดลองคีมจับเชิงแสงแบบออปติกส์ในอากาศ

2.4.2 เลนส์วัตถุกล้องจุลทรรศน์

เลนส์วัตถุที่ใช้จะต้องมีค่า Numerical Aperture สูงๆ (ประมาณ1.0-1.4) กล่าวคือมีปากช่องรับแสงกว้างนั่นเองอาจเป็นเลนส์วัตถุแบบจุ่มน้ำมันหรือจุ่มน้ำเพื่อให้รับปริมาณแสงได้มากทำให้มีแรงเกรเดียนท์มากนอกจากนั้นยังลดผลจากการเบี่ยงเบน (diffraction) ทำให้จุดโฟกัสมีขนาดเล็กลงอีกด้วย

2.4.3 อุปกรณ์บังคับตำแหน่งคีมจับเชิงแสง

ในการศึกษาอนุภาคด้วยคีมจับเชิงแสงเมื่อใช้คีมจับเชิงแสงจับอนุภาคแล้วเราจำเป็นต้องเคลื่อนย้ายอนุภาคไปมาในทิศทางต่างๆซึ่งทำได้หลายวิธีได้แก่

2.4.3.1 การเลื่อนระนาบตัวอย่าง (Sample Stage Movement)

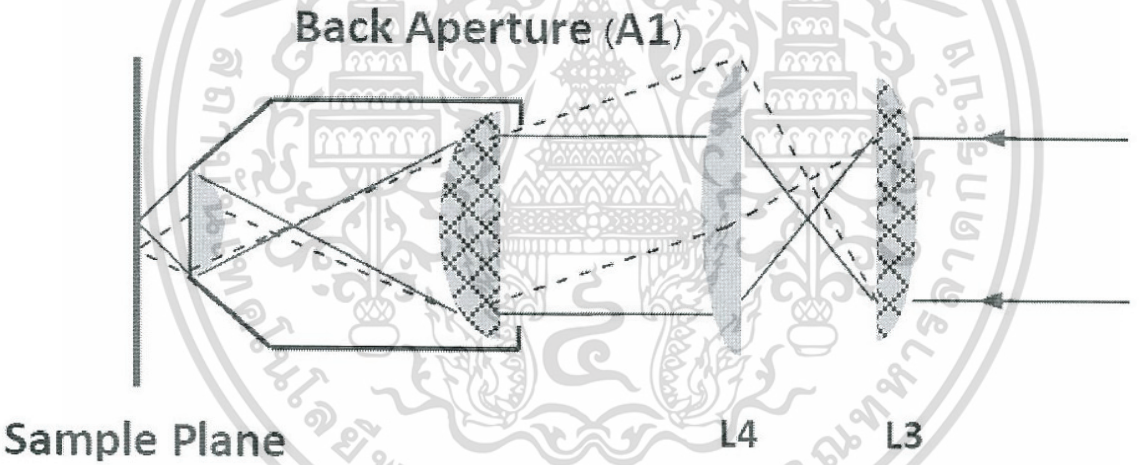
เป็นการเคลื่อนตัวอย่างทั้งระนาบไปโดยการวางระนาบตัวอย่างบนเครื่องเพียโซอิเล็กทริค (Piezoelectric) ซึ่งควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยไฟฟ้าขณะที่คีมจับชิงแสงจับอนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อันหนึ่งอยู่กับที่วิธีนี้สามารถบังคับทิศทางได้สามมิติแต่มีข้อเสียคือมีคีมจับได้เพียงอันเดียว นอกจากนั้นยังมีข้อจำกัดอื่นๆคือความกว้าง (Bandwidth) และความละเอียด (Resolution) ของเครื่องกลเพียโซอิเล็กทริค

2.4.3.2การบังคับทิศทางของลำแสง (Beam Beflection)

ในหลักการแสงเชิงเรขาคณิต (Geometrical Optics) ตำแหน่งโฟกัสของแสงบนระนาบตัวอย่างจะขึ้นอยู่กับทิศทางของลำแสงที่เข้าสู่ช่องด้านหลังของเลนส์วัตถุ (A1) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ดังนั้นถ้าเราติดตั้งอุปกรณ์โดยให้ระนาบทั้งหมดที่แรเงากากบาทในรูปที่ 2.2 เป็นระนาบภาพซึ่งกันและกัน (Image Planes หรือ Conjugate Planes) ได้แก่ระนาบ B1, L3, A1, A2 และ QPD เราก็จะสามารถบังคับคีมจับเชิงแสงได้โดยเพียงขยับเลนส์ L3 หรือไม่ก็บังคับทิศทางของลำแสงที่ระนาบ B1 โดยใช้กระจกหรือเครื่องบังคับทิศทางลำแสงแบบอะคุสโตออปติกส์ (Acousto-Optic Modulator) หรือ AOM การใช้AOM มีข้อดีคือสามารรถสร้างคีมจับเชิงแสงได้หลายอันโดยใช้เลนส์วัตถุอันเดียวมีแบนวิดท์ประมาณ 100 kHz แต่มีข้อเสีย คือ มีการสูญเสียกำลังแสงมากและแสงที่สแกนไปตามมุมต่างๆมีกำลังไม่เท่ากัน



ภาพที่ 2.3 การบังคับตำแหน่งของคีมจับเชิงแสงโดยการเปลี่ยนทิศทางของแสงที่เข้าสู่ช่องด้านหลังของเลนส์วัตถุโดยการขยับเลนส์ L3

2.4.3.3 การใช้วิธีการโฮโลกราฟิก

เป็นการสร้างภาพโฮโลแกรมที่ระนาบตัวอย่างนั่นเองคีมจับเชิงแสงแบบนี้เรียกว่าคีมจับเชิงแสงแบบโฮโลกราฟิก (Holographic Optical Tweezers หรือ HOT) วิธีการนี้จะทำการแปลงแสงที่ระนาบ B1 เช่นเดียวกันแต่จะใช้เครื่องแปลงแสงตามพื้นที่หน้าตัดสองมิติ (Spatial Light Modulator) หรือ SLM ทำการแปลงแอมพลิจูดและเฟสของลำแสงตามพื้นที่หน้าตัดภาพที่แปลงโดยเครื่อง SLM จะถูกฉายลงที่ช่องด้านหลังของเลนส์วัตถุ (ระนาบA1) และจากหลักการฟูเรียออปติกส์ภาพที่ระนาบโฟกัส (ในที่นี้ได้แก่ระนาบตัวอย่าง) จะเท่ากับผลการแปลงฟูเรียหรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่เชิงพื้นที่ (Spa tial Frequency) ของภาพที่ระนาบ A1 การแปลงที่เครื่อง SLM จึงเป็นการแปลงที่อาณาจักรความถี่ (Spatial Frequency Domain) นั่นเอง ข้อดีที่เด่นชัดของวิธีนี้คือรูปร่างของคีมจับไม่ได้เป็นได้เพียงจุดเราสามารถสร้างคีมจับเป็นรูปต่างๆได้เช่นรูปวงแหวนรูปวอลเท็กซ์รูปโดนัทรูปฟังก์ชั่นเบสเซิลเป็นต้นซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายอย่างเครื่อง SLM ที่ใช้อาจเป็นแบบสะท้อนหรือส่งผ่านก็ได้

2.4.4 อุปกรณ์บันทึกภาพและตำแหน่งของอนุภาค

2.4.4.1 บันทึกภาพระนาบตัวอย่างโดยตรงคือการโดยใช้กล้องวีดีโอ CCD ดังในรูปที่ 2.2 วิธีนี้ต้องมีการส่องสว่าง (Illumination) จากอีกด้านหนึ่งของกล้อง CCD เพื่อให้แสงเพียงพอ สังเกตกระจก DM1 และ DM2 จะเป็นกระจกแบบไดโครอิก (Dichroic mirror) คือจะสะท้อนแสงเลเซอร์ที่ใช้ดักอนุภาคและส่งผ่านแสงที่ใช้ในการบันทึกภาพอย่างไรก็ตามความละเอียดของภาพขึ้นอยู่กับจำนวนพิคเซลในกล้อง CCD แล้วยังถูกจำกัดด้วยความยาวคลื่นแสงอีกด้วยความละเอียดสูงสุดประมาณ 0.2 m

2.4.4.2 การบันทึกตำแหน่งที่ระนาบโฟกัสด้านหลัง

เป็นการวัดการแทรกสอดที่ระนาบโฟกัสด้านหลังระหว่างแสงที่กระเจิงจากอนุภาคไปด้านหน้ากับแสงเลเซอร์ที่วิ่งผ่านคีมจับไปด้านหน้าโดยไม่กระทบกับอนุภาคโดยมากจะนิยมใช้เครื่องตรวจจับแสงแบบควอแดรนท์ (Quadrant Photo Detector) หรือเครื่อง QPD แล้วนำผลต่างระหว่างปริมาณแสงแต่ละด้านของเครื่อง QPD มาคำนวณตำแหน่งของอนุภาคให้ความละเอียดของตำแหน่งสูงสุดถึง 1 nm อย่างไรก็ตามสำหรับอนุภาคที่มีขนาดเล็กแสงที่กระเจิงออกมาจะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับแสงที่ผ่านไปโดยไม่กระทบอนุภาคแสงด้านหลัง (background light) นี้ทำให้มีค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อคลื่นรบกวนต่ำ(signal to noise ratio)

2.5 การใช้คีมจับเชิงแสงในการวัดแรง

คีมจับเชิงแสงใช้เป็นเครื่องมือในการวัดแรงในระดับตั้งแต่ 0.1 พิโคนิวตันถึงหลายร้อยพิโคนิวตันโดยสามารถวัดแรงได้สูงสุดหลายร้อยพิโคนิวตันและให้ความละเอียดของสเกลต่ำกว่า 1 พิโคนิวตันซึ่งมีประโยชน์ในการศึกษาแรงจากชีวโมเลกุลเซลล์และอนุภาคสารแขวนลอย

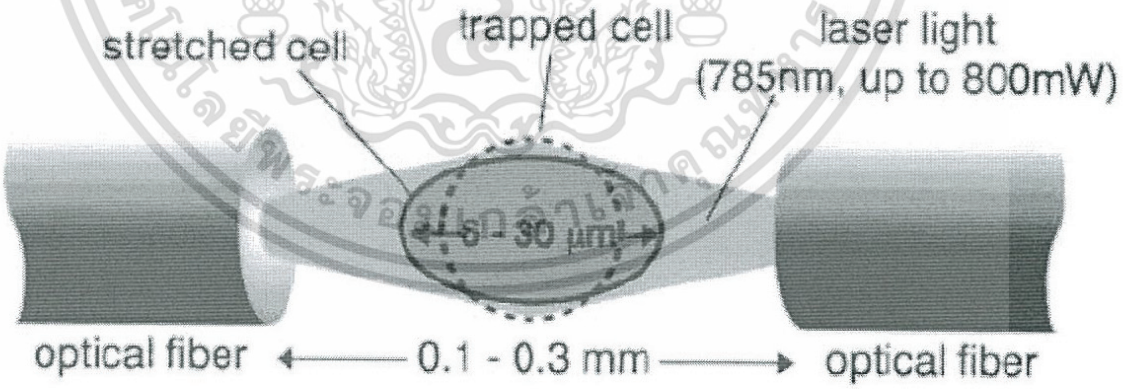
เมื่ออนุภาคอยู่ที่ตรงบริเวณคีมจับเชิงแสงจะถูกแรงจากแสงดึงเข้าหาจุดโฟกัสคีมจับเชิงแสงจึงเปรียบเสมือนสปริงสามมิติที่มีจุดโฟกัสเป็นจุดสมดุลความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะห่างจากจุดโฟกัสเป็นแบบเชิงเส้นเพียงระยะสั้นๆเท่านั้น (ประมาณไม่เกิน 100 nm จากจุดโฟกัส) โดยทั่วไปแล้วคีมจับเชิงแสงจะมีค่าความหนืบตั้งแต่ 0.01-1 pN/nm การวัดแรงทำได้โดยผูกอนุภาคที่จะวัดแรงไว้กับเม็ดแก้วแล้วดักเม็ดแก้วด้วยคีมจับเชิงแสงเมื่อมีแรงดึงที่อนุภาคเม็ดแก้วจะเคลื่อนไปอยู่จุดที่แรงดึงสมดุลกับแรงของคีมจับเราก็สามารถหาแรงได้จากระยะที่เม็ดแก้วเคลื่อนที่ไปในบางการทดลองมีกลไกลย้อนกลับ (feedback) เพื่อเคลื่อนคีมจับเชิงแสงตามอนุภาคไปเพื่อให้ได้ระยะที่แรงกับระยะทางมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นทำให้สามารถวัดแรงได้อย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่าความหนืบคีมจับแต่ละอัน (Force Calibration) โดยวิธีวัดแรงและระยะทาง เช่นเดียวกับสปริงกลนั้นทำได้ยากเพราะมีปัจจัยอื่นๆมาประกอบด้วยเช่นแรงต้านจากของเหลวและการเคลื่อนที่แบบ บราวเนียนเราสามารถหาค่าความหนืบได้ง่ายกว่าโดยวิธีการ Power Spectrum คือวัดกำลังของการสั่นของอนุภาคในคีมจับแล้วแก้สมการในอาณาจักรความถี่แทน (Fourier Domain)

2.6 คีมจับเชิงแสงแบบใช้ใยแก้วนำแสง (Fiber Optical tweezers)

การใช้ใยแก้วนำแสงในการดักจับอนุภาคมีทั้งแบบที่ใช้เส้นใยแก้วเส้นเดียว 4 หรือสองเส้น 5-7 เส้นใยแก้วที่นามาใช้อาจเป็นแบบโหมดเดียวหรือแบบปลายแหลมก็ได้ (tapered fiber) เมื่อแสงเลเซอร์ออกมาจากปลายเส้นใยแก้วแสงจะแผ่ออกเนื่องจากบริเวณนี้ไม่ถูกจำกัดโดยท่อนำแสงดังรูปที่ 2.4 บริเวณที่ปลายเส้นใยแก้วจะมีความเข้มแสงมากที่สุดดังนั้นแรง เกรเดียนท์จะดึงดูดอนุภาคเข้าหาปลายท่อนำแสงในกรณีดักอนุภาคด้วยใยแก้วเส้นเดียววัตถุจะวิ่งมาติดกับปลายท่อนำแสงซึ่งไม่ค่อยนิยมคีมจับเชิงแสงแบบใช้ใยแก้วส่วนใหญ่จะใช้ใยแก้วสองเส้นมาวางบนแกนเดียวกันหันปลายเข้าหากันห่างกันประมาณ 100-300 m เส้นใยแก้วทั้งสองข้างไม่จำเป็นต้องใช้เลเซอร์ความถี่เดียวกันอนุภาคจะถูกดึงเข้าหาใยแก้วทั้งสองข้างเปรียบเสมือนมีสปริงสองอันมาดึงอนุภาคอยู่สองด้านอนุภาคถูกดักอยู่บริเวณที่แรงจากใยแก้วทั้งสองข้างมีค่าเท่ากันการเคลื่อนอนุภาคตามแนวแกน x สามารถทำได้โดยปรับความเข้มของแสงคีมจับเชิงแสงด้านใดด้านหนึ่งคีมจับเชิงแสงมักจะถูกเรียกว่าเครื่องตรึงเชิงแสง (optical stretcher) เนื่องจากอนุภาคที่จับจะถูกแรงทั้งสองข้างดึงให้ยืดออกและถูกใช้ในการศึกษาความยืดหยุ่นของอนุภาคหรือเซลล์



ภาพที่ 2.4 คีมจับเชิงแสงแบบใช้ใยแก้วนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 คีมจับเชิงแสงแบบติดตั้งในเซลล์ของไหล

ในการนำคีมจับเชิงแสงไปประยุกต์ใช้งานเช่นการทำเครื่องตรวจจับมีความจำเป็นต้องย่อขนาดคีมจับเชิงแสงให้มีขนาดเล็กโดยการนำคีมจับเชิงแสงมาย่อขนาดแล้วฝังอยู่ในชิพซึ่งมีของไหลไหลผ่านให้เป็น Integrated Optics สำหรับช่องที่ของไหลผ่านอาจจะมีขนาดตั้งแต่ระดับไมโครเมตรจนถึงระดับนาโนเมตรคีมจับเชิงแสงแบบนี้มีทั้งที่ใช้เลนส์วัตถุและแบบที่ใช้ใยแก้วนำแสงคีมจับเชิงแสงแบบติดตั้งในเซลล์ของไหลนี้กำลังได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและคาดว่าจะแพร่หลายในอนาคตอันใกล้เนื่องจากสามารถนำไปประยุกต์ทำอุปกรณ์ต่างๆได้มากมาย

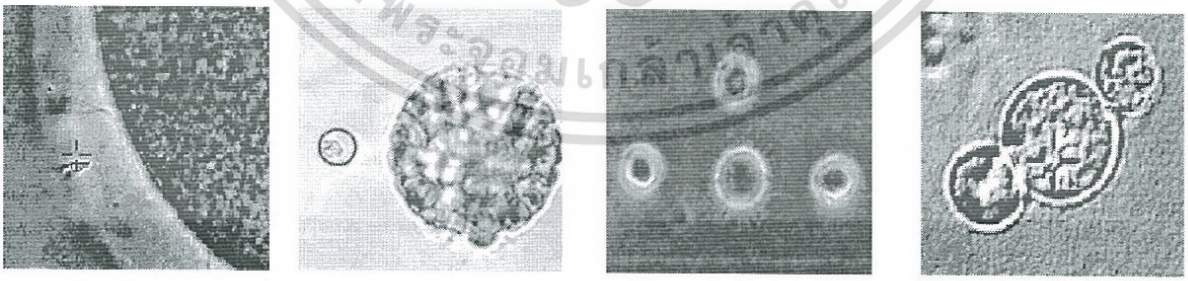
2.8 การประยุกต์ใช้งานคีมจับเชิงแสง

คีมจับเชิงแสงถูกนำไปประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสาขาต่างๆมากมายทั้งในสาขาชีววิทยาเคมีการแพทย์และอื่นๆตัวอย่างการนำคีมจับเชิงแสงไปประยุกต์ใช้มีดังนี้

2.8.1 การศึกษาด้านชีววิทยาในระดับเซลล์

ความสามารถของคีมจับเชิงแสงในการจับเซลล์และเคลื่อนย้ายเซลล์และออกแรงกระทำต่อเซลล์เช่นบิดยืดทำให้มีการนำคีมจับเชิงแสงไปใช้ในทางชีววิทยาอย่างมากมายนอกจากนั้นเรายังสามารถดักจับและออกแรงกระทำต่อส่วนประกอบอื่นๆภายในเซลล์เช่นนิวเคลียสคลอโรพลาสต์อีกด้วยห้องปฏิบัติการทางชีววิทยาส่วนใหญ่จะมีคีมจับเชิงแสงแบบแบบสำเร็จรูปหรือไม่ก็เป็นแบบประกอบขึ้นเองคีมจับเชิงแสงที่ใช้ในทางชีววิทยาจะใช้เลเซอร์ในย่านอินฟราเรด 750-1200 nm เพราะเซลล์และเนื้อเยื่อมีการดูดกลืนต่ำทำให้ไม่เกิดความเสียหายโดยมากจะนิยมใช้เลเซอร์Nd:YAG ที่ความยาวคลื่น 1064 nm และบางครั้งจะใช้ร่วมกับกรรไกรเชิงแสง (optical scissors) หรือมีดตัดเชิงแสง(optical scalpel) เราสามารถทำ สิ่งต่างๆได้มากมายต่อเซลล์ เช่นจับเซลล์มาเซลล์หนึ่งแล้วศึกษาการแบ่งตัวหรือการเจริญเติบโตของเซลล์เซลล์นั้นขอยกตัวอย่างการประยุกต์ใช้เพียงบางส่วนดังนี้

การคัดแยกเซลล์และเชื้อแบคทีเรียเราสามารถใช้คีมจับเชิงแสงพาเชื้อแบคทีเรียทีละตัวไปยังปลายท่อไมโครแคปปิลารี่โดยตรงโดยใช้คนบังคับคีมจับเชิงแสงโดยตรง



A B C D

ภาพที่ 2.5 การประยุกต์ใช้คีมจับเชิงแสงในเซลล์สิ่งมีชีวิต (A) การนำสเปิร์มเข้าสู่ไข่ (B) การนำครอโรพลาสต์ออกมาจากเซลล์พืช (C) การศึกษาปฏิกิริยาทางไฟฟ้าระหว่างเซลล์ประสาท (D) การนำเซลล์ฆ่ามะเร็งไปสัมผัสกับเซลล์มะเร็ง (A,B,C,D เรียงจากซ้ายไปขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การช่วยปฏิสนธิมนุษย์มีการทดลองใช้คีมจับเชิงแสงเป็นตัวนำสเปิร์มไปสัมผัสกับไข่เพื่อช่วยในการปฏิสนธิอีกการทดลองหนึ่งใช้กรรไกรเชิงแสงตัดผนังรังไข่เสียก่อนจากนั้นจึงใช้คีมจับเชิงแสงนำตัวสเปิร์มเข้าสู่ไข่ผ่านทางผนังที่ตัดดังในรูปที่ 2.5 (A)

การศึกษาส่วนประกอบต่างๆของเซลล์เช่นการใช้กรรมไกรเชิงแสงตัดผนังเซลล์พืชแล้วใช้คีมจับเชิงแสงนำครอโรพลาสต์ออกมานอกเซลล์ดังในรูปที่ 2.5 (B)

การศึกษาเซลล์ประสาท (nerve cells) มีการนำเซลล์ประสาทมาวางเรียงกันเป็นรูปต่างๆดังในรูปแล้วศึกษาสัญญาณทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นและสร้างวงจรไฟฟ้าจากเซลล์ประสาทอีกด้วยดังในรูปที่ 2.5 (C)

การศึกษาเกี่ยวกับมะเร็งมีการนำเซลล์มะเร็งไปติดกับเซลล์ที่ฆ่ามะเร็ง (killer cell) เพื่อทำลายเซลล์มะเร็งดังในรูป 2.5(D)

การผสานเซลล์นักวิทยาศาสตร์สามารถผสานเซลล์ 2 เซลล์เข้าด้วยกันโดยไม่ใช้วิธีการทางเคมีหรือไฟฟ้ามาช่วยโดยเพียงใช้มีดตัดเชิงแสงตัดผนังเซลล์ทั้งสองเซลล์แล้วใช้คีมจับเชิงแสงนำเซลล์ทั้งสองมาสัมผัสกัน

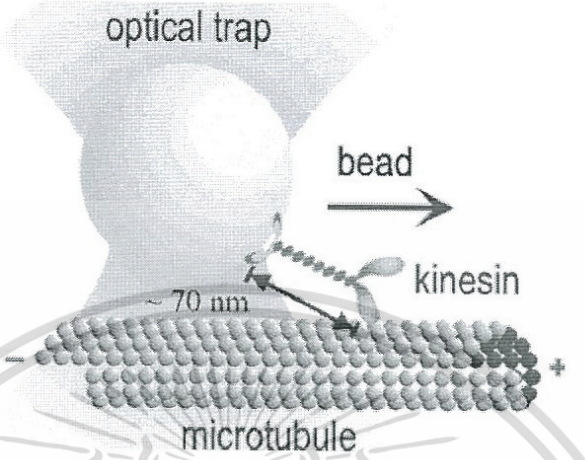
2.8.2 การศึกษาด้านชีววิทยาระดับโมเลกุล

นอกจากจะใช้คีมจับเชิงแสงในการจับเซลล์และส่วนต่างๆของเซลล์แล้วยังสามารถนำคีมจับมาศึกษาชีวโมเลกุลซึ่งส่วนใหญ่จะศึกษาโมเลกุลขนาดใหญ่ (macromolecule) เช่น DNA โครโมโซมและมอเตอร์โมเลกุลต่างๆเนื่องจากเราไม่สามารถใช้คีมเชิงแสงจับโดยตรงเพราะมีขนาดเล็กเกินไปจึงต้องเชื่อมโมเลกุลกับเม็ดแก้วโดยการฉาบสารบางอย่างเช่นสาร Biotin และ streptavidin เป็นต้นแรงที่สารนี้เกาะกับเม็ดแก้วมีค่าประมาณ 300-400 pN ซึ่งมีค่ามากกว่าแรงเนื่องจากโมเลกุลที่จะทำการวัด (น้อยกว่า 100pN)

การประยุกต์ใช้คีมจับเชิงแสงในทางชีววิทยาที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งคือการศึกษามอเตอร์โมเลกุล (molecular motor) ชนิดต่างๆมอเตอร์โมเลกุลที่เป็นโปรตีนซึ่งจะทำหน้าที่เป็นเสมือนเครื่องจักรดึงพลังงานอิสระที่ได้จากกระบวนการไฮโดรลิซิสของ ATP มาเป็นพลังงานกลสิ่งที่หน้าสนใจอย่างหนึ่งเกี่ยวกับมอเตอร์โมเลกุลก็คือมันทำงานในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เสถียรมีการเคลื่อนที่แบบบราวเนียนมีการกวัดแกว่งของพลังงานแวดล้อมประมาณ 1kbT ที่ 25 C ซึ่งไม่น้อยเมื่อเทียบกับพลังงานอิสระประมาณ 20 kbT ที่ได้จากการสลายตัวของ ATP หนึ่งโมเลกุล 18 มอเตอร์โมเลกุลดึงพลังงานอิสระและพลังงานแวดล้อมที่ไร้ทิศทางแล้วมาทำให้ตนเองเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ต้องการดังที่เรียกว่ากระเดื่องความร้อน (thermal ratchet) ที่นักชีววิทยากาลังพยายามศึกษาว่ากระบวนนี้เกิดขึ้นได้อย่างไรมอเตอร์โมเลกุลนับว่าเป็นเครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพเหนือกว่าเครื่องจักรที่มนุษย์เคยประดิษฐ์มาการศึกษามอเตอร์โมเลกุลนอกจากจะมีประโยชน์ด้านการศึกษาทางชีววิทยาแล้วยังมีประโยชน์ต่อเทคโนโลยีระดับนาโนหลายๆอย่างที่จะเกิดขึ้นในอนาคตเช่นการฝังชิพที่มียารักษาโรคไว้ใต้ผิวหนังมนุษย์แล้วใช้มอเตอร์โมเลกุลเป็นตัวนำโมเลกุลของยาไปสู่เซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป้าหมายทีละน้อยเป็นมอเตอร์โมเลกุลที่นำมาศึกษามีหลายชนิดเช่นไมโอซินไคเนซินและ RNAP เป็นต้น



ภาพที่ 2.6 การศึกษาการเคลื่อนที่ไปตามท่อไมโครทูบูลของไคเนซิน

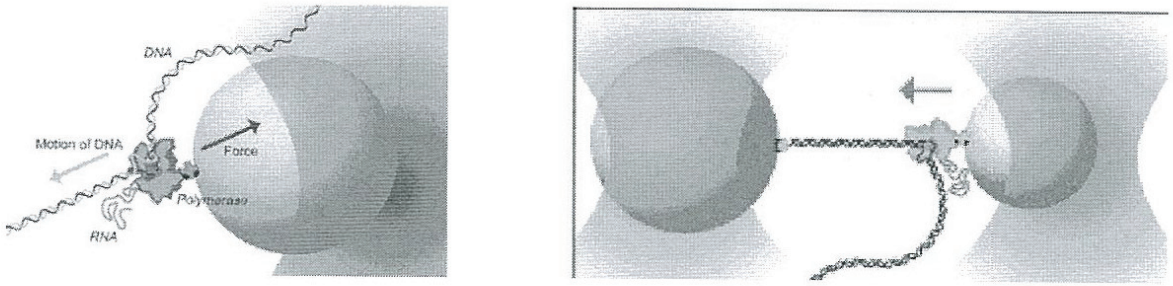
2.8.3 การศึกษาไคเนซิน

ไคเนซิน (kinesin) เป็นมอเตอร์โมเลกุลชนิดหนึ่งที่มีการศึกษากันอย่างแพร่หลายมีหน้าที่ลำเลียงโครโมโซมวีซิเคิลและสารอื่นๆไปตามท่อไมโครทิวบูลภายในเซลล์มีลักษณะเป็นโปรตีนสองสายขดกันปลายข้างหนึ่งจะจับสารที่จะลำเลียงปลายอีกด้านหนึ่งมีลักษณะเป็นเหมือนขาสองข้างเกาะกับผนังท่อไมโครทูบูลดังในรูปที่ 6 ไคเนซินเคลื่อนที่โดยใช้ขาสองข้างเกาะผนังไมโครทิวบูลสลับกันไป คล้ายการเดินการศึกษาไคเนซินทำได้โดยเชื่อมปลายข้างที่ใช้จับสารไว้กับเม็ดแก้วขนาดประมาณ 70 nm แล้วดักเม็ดแก้วด้วยคีมจับเชิงแสงเมื่อไคเนซินเคลื่อนที่ไปเราสามารถสังเกตจังหวะการเคลื่อนที่และแรงได้จากเม็ดแก้วพบว่าไคเนซินสามารถแบกน้ำหนักได้สูงสุด 5-7 pN และเคลื่อนที่ประมาณ 8 nm ต่อหนึ่งก้าวโดยการสลาย ATP หนึ่งโมเลกุล Dr.Block จากมหาวิทยาลัยสแตนฟอร์ดยังทำการทดลองใช้เม็ดแก้วดึงไคเนซินทางด้านข้างและด้านหลังอีกด้วยปรากฏว่าทำให้ไคเนซินเคลื่อนที่ช้าลงแต่ที่น่าทึ่งก็คือเมื่อดึงไปด้านหน้ากลับไม่ทำให้มันเคลื่อนที่เร็วขึ้นเลย

2.8.4 การศึกษาอาร์เอ็นเอ พอลิเมอเรส

อาร์เอ็นเอ พอลิเมอเรส (RNA polymerase หรือ RNAP) เป็นมอเตอร์โมเลกุลชนิดหนึ่งมันจะเกาะไปตามสาย DNAแล้วทำการคัดลอกรหัสพันธุกรรมจาก DNA ลงสู่ RNA (RNA transcribing) Dr.Block ทำการทดลองวัดแรงและความเร็วในการเคลื่อนที่ของ RNAP ไปตาม DNA ในเซลล์ Escherichia Coli โดยเชื่อม RNAP ไว้กับเม็ดแก้วขนาด 0.5 m แล้วดักด้วยคีมจับเชิงแสงขณะที่ปลายของ DNA ก็เชื่อมกับเม็ดแก้วอีกเม็ดหนึ่งแล้วดักด้วยคีมจับเชิงแสงเช่นกันดังรูปที่ 2.7 ปรากฏว่าวัดแรงดึงได้ 15-30 pN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



A B

ภาพที่ 2.7 การศึกษาอาร์เอ็นเอ พอลิเมอเรสA การตรึง RNAP ไว้กับเม็ดแก้วโพลิสไตรีน B เมื่อ RNAP คัดลอกรหัสพันธุกรรมจะดึงเม็ดแก้วทั้งสองเข้าหากัน

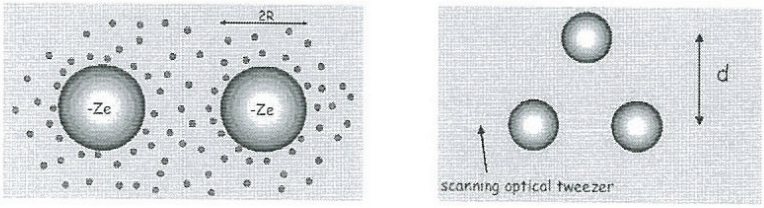
นอกจากที่กล่าวมาแล้วยังสามารถประยุกต์ใช้คีมจับเชิงแสงในทางชีววิทยาอื่นๆดังตัวอย่างต่อไปนี้การผสมพันธ์พืช,วิศวกรรมอาหาร,ศัลยกรรมระดับไมครอน, การวิเคราะห์ความผิดปกติของเส้นประสาท,การวิเคราะห์กระบวนการกระตุ้นประสาท,คัดแยกสารปนเปื้อนในเลือด ,การวินิจฉัยโรค, การศึกษาภูมิคุ้มกัน,การรักษาทางพันธุกรรม,การช่วยฟักตัวของตัวอ่อน ,การศึกษาการเจริญเติบโตของตัวอ่อน,การวินิจฉัยก่อนการผ่าตัดเปลี่ยนอวัยวะ ,การคัดแยกโครโมโซม

2.8.5 การประยุกต์ใช้ในทางเคมี

ในทางเคมีมีการประยุกต์ใช้คีมจับเชิงแสงในหลายๆด้านที่สำคัญคือการศึกษาเกี่ยวกับสารคอลลอยด์และการสร้างโครงสร้างระดับไมโคร/นาโนดังตัวอย่างต่อไปนี้

2.8.5.1 การศึกษาเกี่ยวกับคอลลอยด์

คอลลอยด์ คือ อนุภาคที่กระจัดกระจายกันอยู่ในตัวกลางอนุภาคคอลลอยด์แต่ละอนุภาคไม่ได้มีโมเลกุลเดียวแต่มีหลายๆโมเลกุลรวมตัวกันอยู่อนุภาคคอลลอยด์เป็นได้ทั้งของแข็งของเหลวและก๊าซมีขนาดตั้งแต่ 100 nm จนถึง 10 m แรงดึงดูดของโลกมีผลต่ออนุภาคคอลลอยด์น้อยมากเนื่องจากมีขนาดเล็กในการศึกษาคอลลอยด์ทำได้โดยใช้คีมจับเชิงแสงจับอนุภาคคอลลอยด์แต่ละอนุภาคได้จากนั้นนำมาใกล้กันหรือสัมผัสกันแล้วสังเกตสิ่งที่เกิดขึ้นเช่นวัดแรงดูดกันหรือผลักกันของอนุภาคคอลลอยด์การทดลองที่ง่ายที่สุดคือจับอนุภาคคอลลอยด์อันหนึ่ง 2 อนุภาคมาอยู่ใกล้กันแล้วดูผลที่เกิดขึ้นดังรูปที่ 2.8(A) หรือจับอนุภาคคอลลอยด์ 2 ตัวแล้วนาอนุภาคอีกดันหนึ่งมาใกล้ดังในรูปที่ 2.8(B) และ 2.8(C) เราสามารถวัดแรงระหว่างอนุภาคทั้งสองได้ด้วย



A B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 2.8 การศึกษาแรงที่เกิดขึ้นระหว่างอนุภาคคอลลอยด์โดย (A) ใช้คีมจับเชิงแสงจับอนุภาคหนึ่งแล้วนำอีกอนุภาคมาอยู่ใกล้ (B) ใช้คีมจับเชิงแสงจับอนุภาค 2 ตัวแล้วนำอีกอนุภาคหนึ่งมาอยู่ใกล้

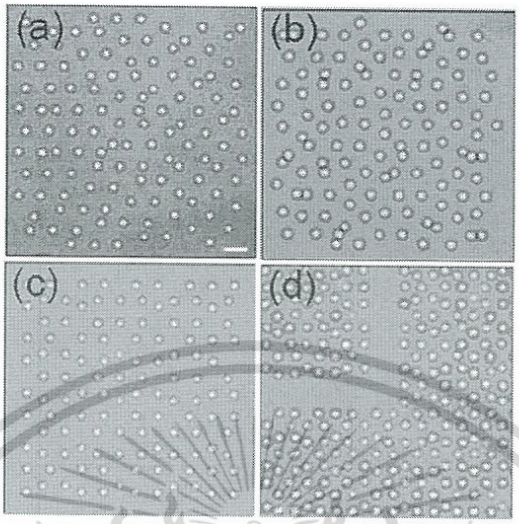


Fig. 1. Two-dimensional colloidal quasicrystals organized with holographic optical traps. (a) 5-fold, (b) 7-fold, (c) 8-fold, (d) An octagonal quasicrystal with an embedded structured defect. The scale bar in (a) indicates 5 μm.

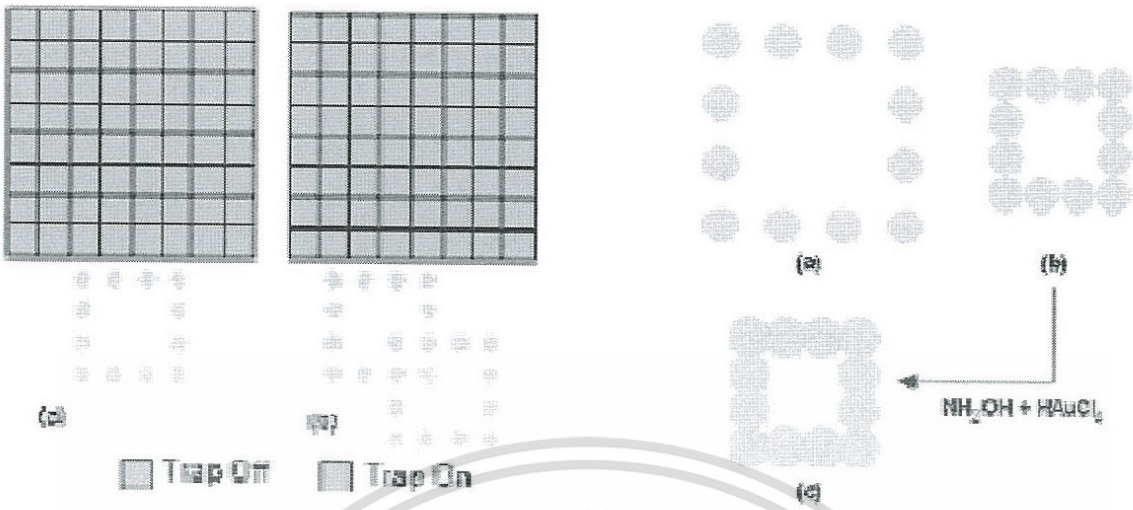
ภาพที่ 2.9 การจัดเรียงอนุภาคคอลลอยด์เป็นรูปทรงสามมิติ 5 เหลี่ยมถึง 8 เหลี่ยมด้วย HOT

ทีมของ Dr. Grier ที่มหาวิทยาลัยนิวยอร์กใช้คีมจับเชิงแสงแบบโฮโลกราฟิกเรียงอนุภาคคอลลอยด์เป็นรูป 5 เหลี่ยมจนถึง 8 เหลี่ยมสามมิติดังรูปที่ 9(A) นอกจากจะสามารถเรียงอนุภาคคอลลอยด์ได้แล้วยังสามารถศึกษาแรงและการจัดเรียงตัวของอนุภาครอบๆ อนุภาคที่ถูกเรียงอีกด้วย

2.8.5.2 การสร้างโครงสร้างระดับไมโครและนาโน(micro/nanostructures)

ทีมของ Metin Sitti ที่มหาวิทยาลัยคาร์เนกีเมลอนประเทศสหรัฐอเมริกาใช้คีมจับเชิงแสงแบบโฮโลกราฟิกร่วมกับวิธีการทางเคมีเพื่อใช้ในการสร้างโครงสร้างระดับไมโครและนาโน (micro/nanostructures) โดยทดลองสร้างโครงสร้างจากอนุภาคทองคำสำหรับรูปแบบของ HOT จะเป็นคีมจับหลายอันเรียงกันเป็นผลึก 2-3 มิติขั้นตอนแรกจะนำอนุภาคผ่านเซลล์ของไหลเข้าสู่ HOT แล้วเปิดคีมจับเป็นรูปต่างๆเช่นสีเหลี่ยมดังรูปที่ 2.10(A) อนุภาคจะมารวมตัวกันณคีมจับที่เปิดอยู่จากนั้นจะทำการล้างอนุภาคที่ตกค้างที่อื่นโดยใช้ของเหลวพาไปอนุภาคที่จับในการทดลองนี้มีไอออนของ Au3+ เป็นองค์ประกอบจากนั้นจะดึงคีมจับมาติดกันแล้วนำสาร NH2OH และ HAuCl2 ผ่านเข้าไปในเซลล์ของไหลสารนี้จะไปทำปฏิกิริยา รีดักชั่นกับไอออนของทองคำทำให้เปลี่ยนเป็น Au แล้วเกิดพันธะโลหะระหว่างอะตอมของ Au เกิดโครงสร้างรูปสี่เหลี่ยมดังรูปที่ 2.10(B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.10 ตัวอย่างการสร้างโครงสร้างระดับไมโคร/นาโน (A) การเปิดคีมจับใน HOT เป็นรูปต่างๆ (B) การทำให้อนุภาคทองคำสร้างพันธะโลหะด้วยวิธีการทางเคมี

การสร้างโครงสร้างระดับนาโนไมโครนี้มีแนวโน้มจะได้รับการพัฒนาต่อไปซึ่งมีประโยชน์ต่อการพัฒนาเทคโนโลยีระดับนาโนในอนาคต

2.8.5.3 การทำสเปกโตรสโกปีกับโมเลกุล

คีมจับเชิงแสงช่วยให้เราสามารถทำการวิเคราะห์สเปกตรัมของสารโดยวิเคราะห์เพียงโมเลกุลเดียวได้โดยใช้คีมจับเชิงแสงจับโมเลกุลไว้การทำสเปกโตรโกปีร่วมกับคีมจับเชิงแสงสามารถทำได้ทั้งแบบรามัน (Raman Spectroscopy) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์การสั่นการหมุนจากแสงมีความยาวคลื่นเปลี่ยนไปเนื่องจากพลังงานของโฟตอนเปลี่ยนไปเป็นโฟนอนหรือรวมกับโฟนอนหรืออาจจะทำสเปกโตรโกปีแบบฟลูออเรสเซนต์ธรรมดาก็ได้

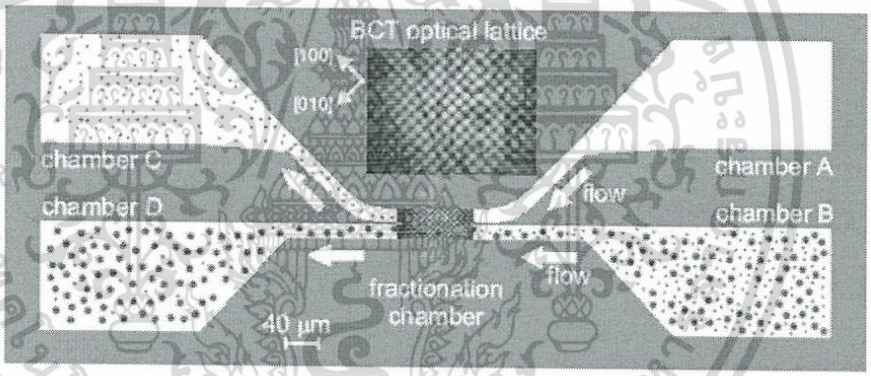
2.9 เทคโนโลยีอื่นที่น่าสนใจเกี่ยวกับคีมจับเชิงแสง

คีมจับเชิงแสงในการทาเครื่องคัดแยกอนุภาคอัตโนมัติระดับไมโคร-นาโนเมตร (Optical Sorting) การคัดแยกอนุภาคด้วยคีมจับเชิงแสงโดยการใช้คนในการตัดสินใจเลือกอนุภาคทีละชิ้นใช้ได้เฉพาะในห้องทดลองเมื่อมีจำนวนอนุภาคน้อยในการใช้งานจริงสามารถสร้างเครื่องคัดแยกอนุภาคอัตโนมัติโดยใช้คีมจับเชิงแสงคัดแยกอนุภาคขนาดเล็กเช่นเซลล์และอนุภาคขนาดไมครอนจนถึงนาโนเมตรเครื่องคัดแยกอนุภาคอาจมีรูปแบบต่างกันขึ้นอยู่กับการออกแบบและการใช้งานตัวอย่างของเครื่องคัดแยกอนุภาคโดยใช้คีมจับเชิงแสงมีดังนี้

พัฒนาโดยทีมวิจัยที่มหาวิทยาลัยเซนต์แอนดรูมีรูปร่างดังรูปที่ 2.10 ของเหลวจะไหลจากปล่อง A และ B เข้าสู่ปล่องคัดแยก (Fractionation Chamber) โดยที่ของเหลวในปล่อง B มีอนุภาคที่ต้องการคัดแยกขณะที่ในปล่อง A เป็นของเหลวเปล่าๆตามทฤษฎีของเรย์โนด์ถ้าปล่องมีขนาดเล็กถึงระดับหนึ่งจะมีเลขเรย์โนลด์ต่ำของเหลวจะไหลแบบต่อเนื่องเรียบๆ (Laminar Flow) คือของอนุภาคที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

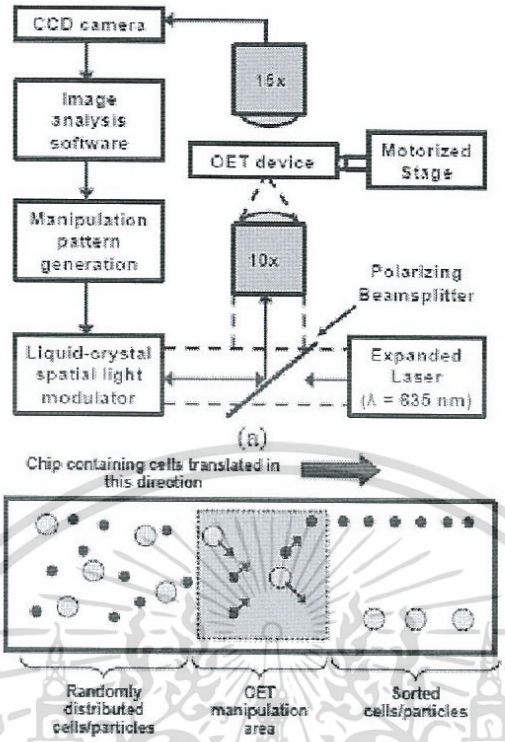
อยู่ในเหลวจากปล่อง B จะไหลไปสู่ปล่อง D ทั้งหมดและจากปล่อง A ไหลสู่ปล่อง C ทั้งหมดภายในปล่องคัดแยกมีกับดักเชิงแสงหลายอันเรียงกันใน 3 มิติสร้างจากกับดักเชิงแสงแบบโฮโลกราฟิกเรียกว่าผลึกเชิงแสง (Optical Lattice หรือ Optical Peritalsis) เราสามารถเข้าใจหลักการทำงานของเครื่องคัดแยกอนุภาคโดยให้มองคีมจับเชิงแสงว่าเป็นหลุมความต่างศักย์อันหนึ่งโดยที่กำลังของแสงแปรผันสอดคล้องกับความลึกของหลุมอนุภาคที่มีขนาดใหญ่มีพลังงานมากกว่าความลึกของหลุมจะไม่ถูกจับโดยกับดักเชิงแสงและไหลเข้าสู่ปล่อง D อนุภาคขนาดเล็กจะถูกจับโดยกับดักเชิงแสงซึ่งเคลื่อนที่ขึ้นด้านบนอย่างต่อเนื่องและไหลไปยังปล่อง C เครื่องคัดแยกอนุภาคเชิงแสงแบบนี้จึงไม่ต้องมีการวิเคราะห์อนุภาค (passive) ถ้าของเหลวมีอนุภาคที่มีขนาดใกล้เคียงกันเปอร์เซ็นต์การแยกจะน้อยเราอาจนาของเหลวในปล่อง D ไหลวนเข้ามาที่ปล่อง B อีกหลายๆครั้งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดแยกนอกจากนั้นถ้าต้องการแยกอนุภาคหลายๆขนาดเราอาจผ่านของเหลวเข้าสู่ปล่องคัดแยกหลายๆปล่องต่อเนื่องกันไปโดยคัดเลือกอนุภาคขนาดเล็กก่อนแล้วเพิ่มขนาดขึ้นตามลำดับ (cascading) นอกจากนี้ยังประยุกต์ใช้การคัดแยกเซลล์ได้โดยนำเม็ดแก้วขนาดต่างๆกันไปเคลือบสารที่เกาะกับเซลล์ต่างชนิดกันเซลล์แต่ละชนิดก็จะเคลื่อนไปตามเม็ดแก้วขนาดนั้นๆ



ภาพที่ 2.11 แผนผังเครื่องคัดแยกอนุภาคระดับไมโคร-นาโนเมตรของมหาวิทยาลัยเซนต์แอนดรูส์

เครื่องคัดแยกอนุภาคแบบมีการวิเคราะห์อนุภาค (Active Sorting) ตัวอย่างของเครื่องคัดแยกอนุภาคสร้างโดยทีมจากมหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนียที่ Berkeley มีรูปแบบดังในรูปที่ 2.12 เป็นการผ่านของเหลวที่มีอนุภาคที่จะคัดแยกผ่านเซลล์ของเหลวขนาดเล็กภาพของช่องของไหลนี้จะถูกฉายลงบนจอภาพ CCD จากนั้นมีการวิเคราะห์รูปร่างและขนาดของอนุภาคที่ผ่านมาโดยคอมพิวเตอร์โดยอาศัยข้อมูลจากแสงที่ตกลงบนพิกเซลต่างๆจากนั้นคอมพิวเตอร์จะสั่งเครื่อง HOT จับอนุภาคและติดตามอนุภาคไปยังช่องที่กำหนดดังในรูป 2.12 (b) ในการทดลองนี้สามารถคัดแยกเม็ดแก้วโพลิสไตรีนขนาดต่างๆและคัดแยกเซลล์เฮลาได้อีกด้วย (Hela Cell)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.12 แผนผังเครื่องคัดแยกอนุภาคจากมหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย

2.9.2 คีมจับเชิงแสงในการทำเครื่องตรวจจับ (Sensors)

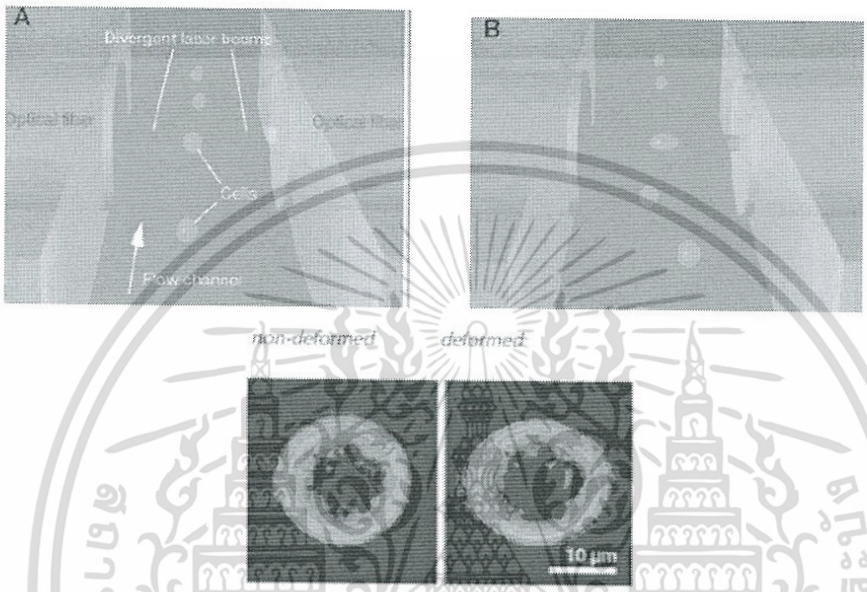
คีมจับเชิงแสงสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องตรวจจับอนุภาคขนาดเล็กได้อีกด้วยโดยมักใช้คีมจับเชิงแสงจับอนุภาคที่ต้องการในของเซลล์ของไหลตัวอย่างเครื่องตรวจจับที่ใช้คีมจับเชิงแสงมีดังนี้

2.9.3 เครื่องตรวจหาเซลล์มะเร็ง (Leipzig)

ต้นแบบเครื่องตรวจหาเซลล์มะเร็งโดยใช้เครื่องตรึงเชิงแสงถูกพัฒนาขึ้นโดยทีมของศาสตราจารย์ Josef Kas ที่มหาวิทยาลัยไลป์ซิก (Leipzig) ในประเทศเยอรมันนีในปี 2005 โดยอาศัยหลักการที่ว่าเซลล์มะเร็งจะมีความยืดหยุ่นสูงเมื่อถูกตรึงด้วยเครื่องตรึงเชิงแสงคณะนักวิจัยยังอ้างว่าเครื่องนี้เป็นเครื่องตรวจหาเซลล์มะเร็งที่มีความละเอียดที่สุดในโลกในปัจจุบัน นอกจากนั้นยังตรวจง่ายมีราคาถูกกว่าแบบเดิมและไม่ต้องใช้การฉีดสีเหมือนเครื่องตรวจแบบดั้งเดิมปกติแล้วภายในเซลล์ต่างๆจะมีไซโตสเกลเลอทอน (cytoskeleton) เป็นชีวโพลิเมอร์ซึ่งมีความแข็งอยู่ในไซโตพลาซึม (cytoplasm) ทำหน้าที่กำหนดรูปร่างของเซลล์เปรียบเสมือนเป็นโครงกระดูกของเซลล์เมื่อเซลล์ถูกดักจะถูกแรงยืดจากเครื่องตรึงเชิงแสงในเซลล์มะเร็งหรือเซลล์เนื้อร้ายไซโตสเกลเลอทอนจะสูญเสียคุณสมบัติความแข็งและทำให้เซลล์มีความยืดหยุ่นสูงกว่าเซลล์ปกติการทำงานของเครื่องตรวจหามะเร็งจะนำตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์จากชิ้นเนื้อผ่านเข้าสู่เซลล์ของไหลซึ่งมีเครื่องตรึงเชิงแสงดังรูป 2.13(A) เมื่อถูกตรึงอยู่ระหว่างเครื่องตรึงเซลล์มะเร็งจะยืดออกมากกว่าเซลล์ทั่วไปดังในรูปที่ 2.13(B) และ (C) เครื่องตรวจหาเซลล์มะเร็งต้องการตัวอย่างเพียง 50 เซลล์จากชิ้นเนื้องอกในการตรวจหา ขณะที่การตรวจเซลล์มะเร็งแบบเก่าต้องใช้เซลล์จำนวน 10,000-100,000 เซลล์จากชิ้นเนื้องอก



ภาพที่ 2.13 (A) ผังเครื่องตรวจหาเซลล์มะเร็งด้วยเครื่องตรึงเชิงแสง (B)การยืดออกของเซลล์มะเร็งเมื่อถูกตรึง (C) ตัวอย่างภาพถ่ายของเซลล์ปกติและเซลล์ที่เปลี่ยนรูปร่างไป

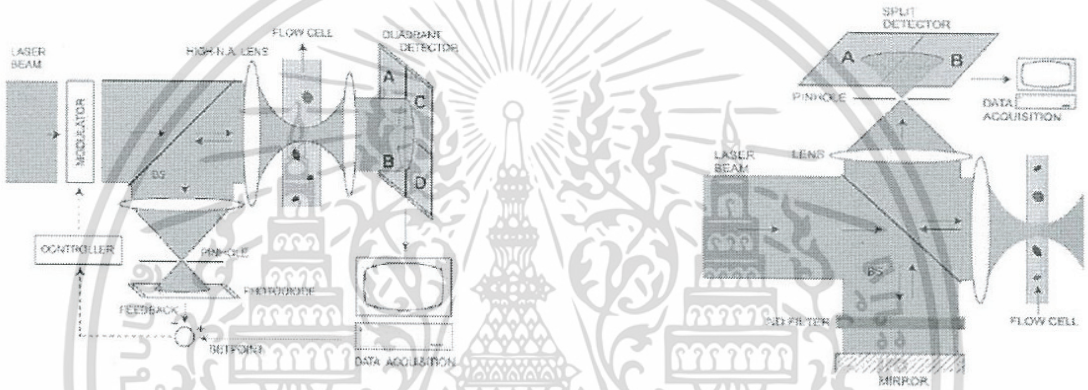
เครื่องนี้ยังสามารถระบุเซลล์มะเร็งที่อยู่ในสถานะเมทาสติก (metastatic cancer cell) ได้อีกด้วยเซลล์มะเร็งชนิดนี้มีความยืดหยุ่นสูงมากจึงสามารถเคลื่อนที่ไปทั่วทั้งร่างกายเป็นสาเหตุทำให้เกิดเนื้อร้ายในที่อื่นๆตามมา (secondary tumor) ซึ่งก่อนหน้านี้การตรวจหาเนื้องอกนี้ทำได้ยากมากโดยการตรวจหาจากที่อื่นๆในร่างกายเท่านั้นประโยชน์ของการตรวจหาเนื้อร้ายชนิดเมทาสติกนี้คือ ทำให้ผู้ป่วยโรคมะเร็ง (เช่นมะเร็งเต้านม) แต่ไม่มีเซลล์เนื้อร้ายชนิดนี้ไม่ต้องรับการรักษาแบบเคมีบำบัดทั่วร่างกายซึ่งต้องได้รับความทุกข์ทรมานมาก นอกจากนั้นเทคนิคเดียวกันนี้ยังสามารถคัดแยกสเต็มเซลล์จากตัวอย่างเลือดมนุษย์เนื่องจากไซโตสเกลเลอทอนในสเต็มเซลล์มีความอ่อนตัวสูงเพราะยังไม่มีการพัฒนารูปร่างไปเป็นแบบใดแบบหนึ่งมีการนำสเต็มเซลล์ที่ได้จากวิธีนี้ไปรักษาแผลเรื้อรังจากผู้ป่วยเทคนิคนี้จึงเป็นวิทยาการใหม่ในการศึกษาเกี่ยวกับสเต็มเซลล์อีกด้วย

2.9.4 เครื่องตรวจจับเชื้อไวรัสและอนุภาคระดับนาโนเมตร

ในปี 2006 Lukas Novotny จากมหาวิทยาลัยโรเชสเตอร์ประเทศสหรัฐอเมริกาได้ทำการทดลองใช้คีมจับเชิงแสงในการตรวจหาเชื้อไวรัสและอนุภาคระดับนาโนเมตร 32 โดยใช้สองวิธีดังรูปที่ 2.14 การทดลองทั้งสองวิธีเหมือนกันตรงที่เป็นการโฟกัสคีมจับเชิงแสงในเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเหลวซึ่งมีอนุภาคระดับนาโนเมตรไหลผ่านแต่ต่างกันตรงที่วิธีการบันทึกตำแหน่งของอนุภาคในการทดลองนี้เราไม่ใช้คีมจับเชิงแสงจับอนุภาคระดับนาโนเมตรเพียงแต่ใช้แรงจากคีมจับเชิงแสงในการเร่งและชะลออนุภาคที่ผ่านเข้ามาเมื่ออนุภาคไหลผ่านบริเวณคีมจับเชิงแสงอนุภาคจะถูกแรงเกรเดียนท์กระทำโดยขณะที่อนุภาคไหลเข้าหาจุดโฟกัสอนุภาคจะถูกเร่งทำให้เคลื่อนที่เร็วขึ้นและหลังจากที่ไหลผ่านจุดโฟกัสอนุภาคจะถูกแรงเกรเดียนท์ดึงกลับเข้าหาจุดโฟกัสทำให้ไหลช้าลงยิ่งอนุภาคมีขนาดเล็กเท่าไรแรงจากคีมจับก็จะมีผลน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับแรงของของไหล (Stroke force) ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วน้อยการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ทำให้ทราบขนาดของอนุภาคที่ไหลผ่าน



ภาพที่ 2.14 แผนผังแสดงเครื่องตรวจจับเชื้อไวรัสและอนุภาคระดับนาโนเมตรโดย (A) วัดการแทรกสอดของที่ระนาบโฟกัสด้านหลัง (B) วัดในรูปแบบเครื่องวัดการแทรกสอดแบบไมเคิลสัน การทดลองแรกใช้เครื่องตรวจวัดแสงแบบควอแรนท์ในการระบุตำแหน่งของอนุภาคโดยวัด

การแทรกสอดระหว่างแสงเลเซอร์ที่ไปข้างหน้าปกติกับแสงที่กระเจิงจากอนุภาคไปด้านหน้าตามรูป 2.14(A) ผลการทดลองปรากฏว่าสัญญาณที่ได้ไม่ค่อยดีเนื่องจากแสงเลเซอร์ที่ไปด้านหน้ามีปกติมีความเข้มมากส่วนแสงที่กระเจิงจากอนุภาคไปด้านหน้ามีความเข้มน้อยไม่สมดุลกันเพราะอนุภาคมีขนาดเล็กการทดลองที่สองแก้ปัญหานี้โดยใช้รูปแบบการแทรกสอดแบบไมเคิลสันดังรูปที่ 2.14 (B) การวัดตำแหน่งกระทำโดยใช้เครื่องตรวจวัดแสงแบบสองข้าง (Split Detector) วัดการแทรกสอดระหว่างแสงที่กระเจิงจากอนุภาคไปด้านหลังกับแสงเลเซอร์ที่แยกไปที่แขนอีกด้านหนึ่งวิธีนี้เราสามารถใส่ฟิลเตอร์ที่แขนที่แยกไปดังกล่าวเพื่อให้ความเข้มเท่ากัน (Background Free) การทดลองครั้งหลังนี้สามารถจับตรวจอนุภาคขนาดต่างๆได้โดยตรวจพบเม็ดแก้วโพลิสไตรีนขนาดเล็กถึง 15 nm และอนุภาคทองคาขนาด 7 nmได้นอกจากนี้ยังทดลองตรวจไวรัสไข้หวัดใหญ่ชนิด Influenza AX-31 ได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 แนวโน้มการพัฒนาคีมจับเชิงแสง

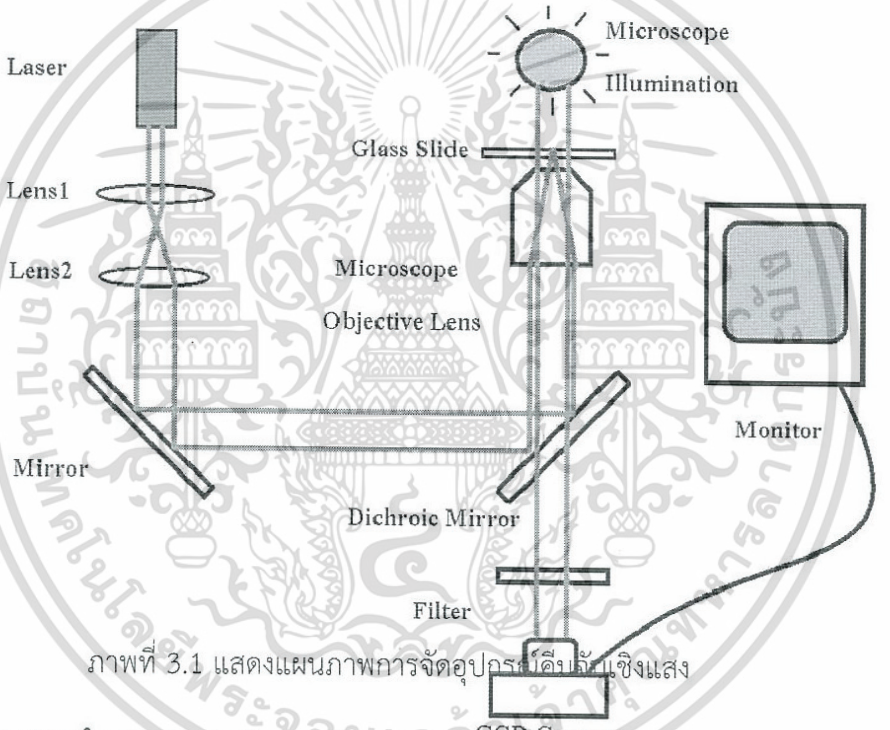
ในอนาคตคาดว่าจะมีการใช้คีมจับเชิงแสงในการศึกษาและในอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องรวมถึงการศึกษาทางชีววิทยาและเคมีเช่นมอเตอร์โมเลกุลและเซลล์สิ่งมีชีวิตต่างๆการศึกษาสารคอลลอยด์และสารเคมีอื่นๆจะมีเพิ่มขึ้นซึ่งมีประโยชน์ต่อวงการแพทย์และเทคโนโลยีอื่นๆในทางอุตสาหกรรมคีมจับเชิงแสงจะมีแนวโน้มจะถูกย่อขนาดให้เล็กลงและมีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยใช้คีมจับแบบโฮโลกราฟิกและแบบใยแก้วนำแสงโดยเฉพาะอย่างยิ่งการทำเป็นชิพร่วมกับเซลล์ของไหลเพื่อทำเป็นเครื่องตรวจจับและเครื่องคัดแยกวัตถุต่างๆนอกจากนี้คีมจับเชิงแสงยังจะมีบทบาทเพิ่มขึ้นในการสร้างโครงสร้างระดับไมโคร หรือนาโนอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

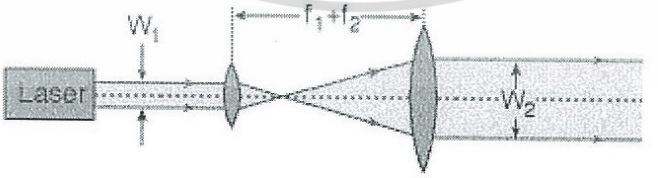
3.1 ออกแบบและวางแผนการสร้างอุปกรณ์คีมจับเชิงแสง

ในการออกแบบการสร้างอุปกรณ์คีมจับเชิงแสงนี้จะแสดงการสร้างและการจัดอุปกรณ์หลักที่จำเป็นต้องใช้ในการออกแบบและการสร้างอุปกรณ์คีมจับเชิงแสงอย่างง่ายโดยจะคำนึงถึงอุปกรณ์ที่มีอยู่เป็นหลักเพื่อนำอุปกรณ์ที่มีอยู่นี้มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบการทำงานของคีมจับเชิงแสงอย่างง่ายจากรูปที่ 3.1 จะแสดงไดอะแกรมของการออกแบบระบบคีมจับเชิงแสงอย่างง่าย



ภาพที่ 3.1 แสดงแผนภาพการจัดอุปกรณ์คีมจับเชิงแสง

3.2 การออกแบบและการคำนวณระบบ Beam Expander



ภาพที่ 3.2 แสดงการทำงานของ Beam Expander

ในการออกแบบระบบ Beam Expander ของโครงงานพิเศษนี้จากรูปเลนส์ตัวที่ 1(นับจากซ้ายมือ) จะมีจุดโฟกัสที่ 30 mm เลนส์ตัวที่ 2 จะมีจุดโฟกัสอยู่ที่ 100mm ดังนั้นในการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะห่างจากเลนส์ทั้งสองคือระยะห่างของเลนส์ = (จุดโฟกัสของเลนส์ตัวที่ 1) +(จุดโฟกัสของเลนส์ตัวที่ 2)

= 30 mm + 100 mm

= 130 mm

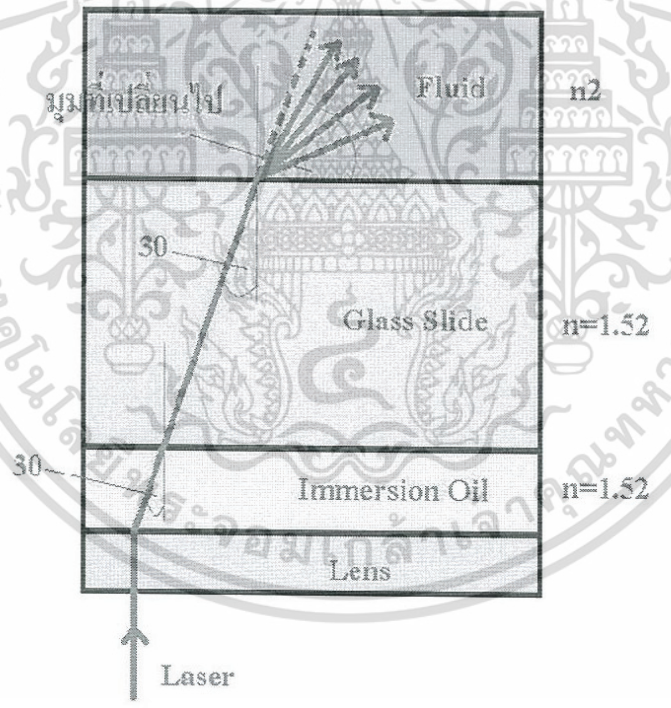
ดังนั้นเราจะต้องวางเลนส์ทั้งสองตัวให้ห่างจากกันเป็นระยะ 130 มิลลิเมตรจากนั้นจะคำนวณขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของแสงหลังจากที่ถูกขยายแล้วซึ่งจากรูปที่ 3.2 คือW2 นั้นเองซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$W_2 = \left(\frac{f_2}{f_1}\right) W_1 \qquad (1)$$

จากการคำนวณตามสมการที่ (3.1)

จะได้เส้นผ่านศูนย์กลางของแสงหลังขยายแล้ว 6.66 มิลลิเมตร

3.3 การหาตำแหน่งของอนุภาคที่จุดโฟกัส



ภาพที่ 3.3 การหาตำแหน่งของจุดโฟกัสที่ใช้จับอนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1การคำนวณมุมที่หักเหไปของจุดโฟกัส

จากสมการ

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$
$$1.52 \sin 30 = n_2 \sin\theta_2$$

ดังนั้น

$$\theta_2 = \sin^{-1}\left(\frac{1.52 \sin 30}{n_2}\right)$$

ซึ่งมุม θ_2 จะเปลี่ยนแปลงตามดัชนีหักเหแสงที่ต่างกันตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ผลที่ได้จากการหักเหของลำแสงเมื่อ $\theta_1 = 30^\circ$ และ $n_1 = 1.52$

n_2	θ_2
1.52	30.000°
1.45	30.610°
1.33(water)	34.849°
1.20	39.296°
1.10	43.702°
1.00(air)	49.464°

3.4 การเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.4.1 เลเซอร์สีแดงกำลังขนาด 20 มิลลิวัตต์

3.4.2 เลนส์นูนระยะโฟกัส 100 มิลลิเมตร (Convex Lens)

3.4.3 เลนส์นูนระยะโฟกัส 30 มิลลิเมตร (Convex Lens)

3.4.4 กระจกสะท้อนแสง (Mirror)

3.4.5 กระจกไดโครอิค (Dichroic Mirror)

3.4.6 กล้องจุลทรรศน์แบบส่องขึ้น(Inverted Microscope) Olympus CK30/CK40

3.4.7 เลนส์ใกล้วัตถุ (Microscope Objective Lens) กำลังขยายขนาด 10x

3.4.8 เลนส์ใกล้วัตถุ (Microscope Objective Lens) กำลังขยายขนาด 20x

3.4.9 เลนส์ใกล้วัตถุ (Microscope Objective Lens) กำลังขยายขนาด 40x

3.4.10 เลนส์ใกล้วัตถุแบบใช้น้ำมัน (Oil Immersion Objective Lens) กำลังขยายขนาด 100x

3.4.11 กล้องเว็บแคม(Logitech Webcam Camera)หรือกล้อง CCD

3.4.12 แว่นตัดแสงสีแดงหรือฟิลเตอร์ (Filter)ตัดแสงสีแดง

3.4.13 คอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์มอนิเตอร์สำหรับการเฝ้าดู

3.4.14 อุปกรณ์จับเลนส์ (Lens Mount)

3.4.15 เม็ดบีตโพลีสไตรลีนขนาดไมโครเมตร(Micro Polystyrene Beads)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.16 น้ำมันอีมัลชั่น(Oil Immersion)

3.4.17 แผ่นสไลด์และที่ปิดแผ่นสไลด์(Glass Slide and Glass Cover Slip)

3.4.18 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดต่างๆเช่นไม้บรรทัดอุปกรณ์เวอร์เนียคาลิปเปอร์(Vernier Caliper)

3.4.19 โปรแกรมที่ใช้สาหรับกล้องเว็บแคม (Logitech Webcam Software)

3.5 วิธีการและขั้นตอนการดำเนินงาน

3.5.1 วางแผนการทำงานและระยะเวลาในการทดลองพร้อมทั้งวางตารางการทำงานของแต่ละช่วงของการทดลองทั้งหมดก่อนการทดลอง

3.5.2 ศึกษาทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของระบบคีมจับเชิงแสงและหลักการทางฟิสิกส์ที่ใช้ในการอธิบายการทำงานของคีมจับเชิงแสงพร้อมทั้งศึกษาการทำงานและผลการทดลองของผู้ที่ได้ทำการศึกษามาก่อนหน้านี้เพื่อช่วยในการออกแบบระบบและการวางแผนการทดลอง

3.5.3 ออกแบบระบบคีมจับเชิงแสงอย่างง่ายทั้งระบบ (Simple Optical Tweezers System) ซึ่งในการออกแบบนี้จะต้องขึ้นอยู่กับศักยภาพและความพร้อมของอุปกรณ์ที่มีอยู่เท่านั้นโดยจะยึดถือการทำงานพื้นฐานของระบบคีมจับเชิงและนำอุปกรณ์ที่มีอยู่เท่านั้นมาประยุกต์ใช้งานโดยจะแสดงอยู่ในรูปที่ 3.1

3.5.4 เริ่มการทดลองการติดตั้งอุปกรณ์คีมจับเชิงแสงจากการติดตั้งระบบ Beam Expander System และทำการวัดระยะความสูงของลำแสงและขนาดของลำแสงพร้อมทั้งคำนวณขนาดและระยะที่ถูกต้องของการจัดวางอุปกรณ์ตามที่ได้ออกแบบไว้

3.5.5 จัดลำแสงที่ได้จากระบบ Beam Expander เข้าไปยังกระจกไดโครอิค (Dichroic Mirror)ซึ่งจะต้องวางอยู่ในตำแหน่งและมุมที่ถูกต้องตามการออกแบบการทดลองและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานของอุปกรณ์พร้อมทั้งจัดให้แสงที่ได้เข้าไปโฟกัสที่เลนส์ใกล้วัตถุพร้อมทั้งสังเกตผลการทดลอง

3.5.6 จัดอุปกรณ์ที่ใช้สาหรับการเฝ้าดูการทำงานโดยการวางฟิลเตอร์หรือแว่นตัดแสงสีแดงและกล้องเว็บแคมไว้ในตำแหน่งที่ถูกต้องจากการออกแบบและจะต้องอยู่ในระยะที่เหมาะสมของการโฟกัสของกล้องด้วย

3.5.7 ต่อกล้องเว็บแคมเข้ากับอุปกรณ์มอนิเตอร์หรือคอมพิวเตอร์และทำการลงโปรแกรมการทำงานของกล้องเพื่อใช้ในการเฝ้าดูและบันทึกการทำงานของระบบที่สร้างขึ้น

3.5.8 เมื่ออุปกรณ์ทุกอย่างอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมแล้วทำการตรวจสอบอุปกรณ์และแก้ไขในส่วนที่ยังไม่ถูกต้องทั้งระยะและตำแหน่งของอุปกรณ์ที่ได้จัดทำเอาไว้ต่างๆ

3.5.9 ทำการทดลองอุปกรณ์โดยการจับอนุภาคของเม็ดบีดที่เตรียมไว้และทำการการบันทึกผลของการจับโดยการบันทึกวิดีโอและทำการปรับอุปกรณ์และแก้ไขที่ตำแหน่งต่างๆหากอุปกรณ์ยังไม่สามารถที่จะจับได้จนกว่าจะสามารถปรับให้อุปกรณ์ทำการจับอนุภาคได้

3.5.10 สรุปผลการทำงานและการทดลองของอุปกรณ์

3.5.11 เสนอแนะวิธีการทดลองและการปรับปรุงอุปกรณ์คีมจับเชิงแสงที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นพร้อมทั้งออกแบบระบบที่ดีขึ้นโดยจะยึดจากระบบการทำงานที่ได้ทำการทดลองไปพร้อมทั้งเสนอแนะแนวทางแก้ไขปัญหาและวิธีการพัฒนาของอุปกรณ์ที่จะสร้างต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

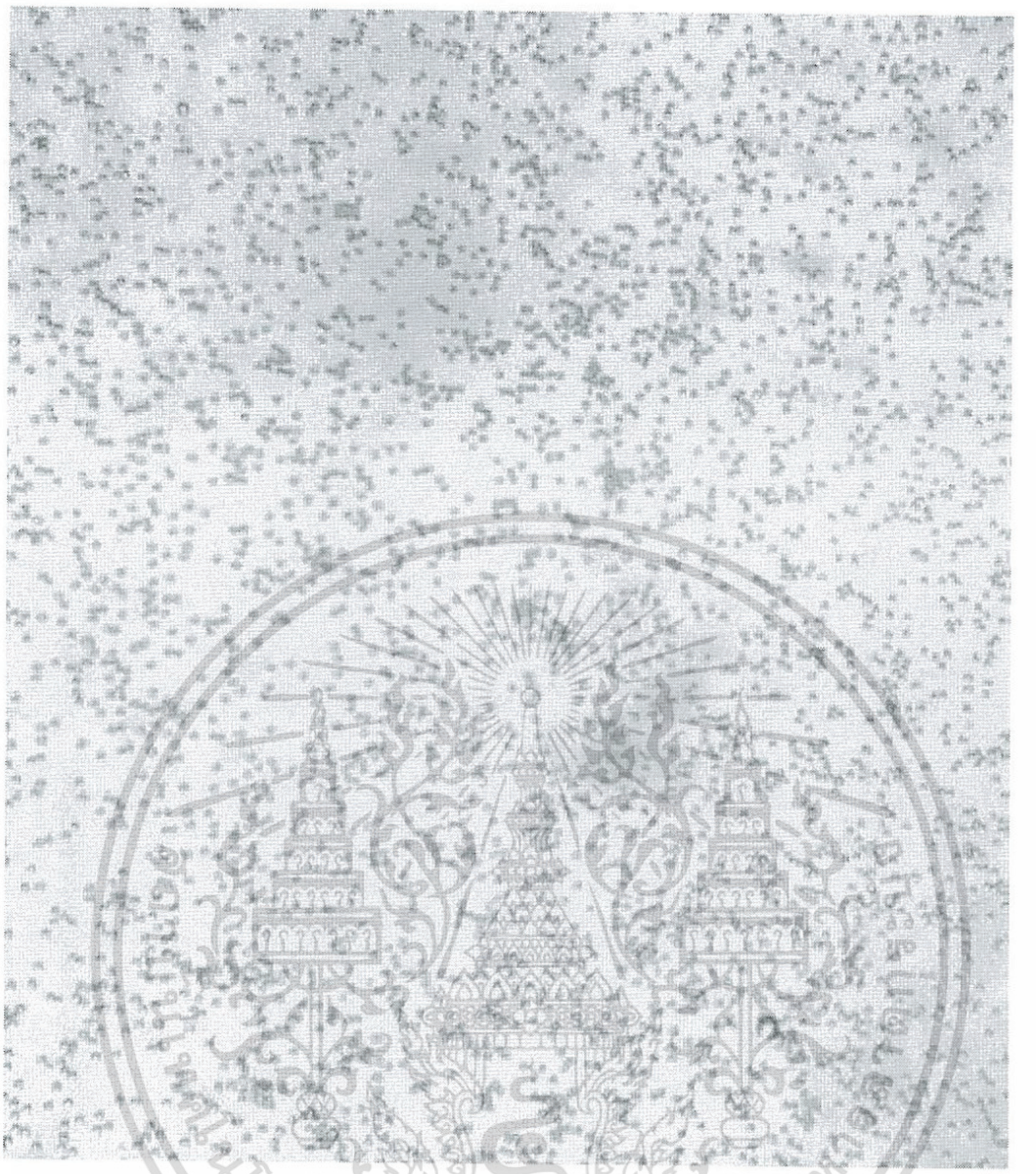
4.1 ลักษณะของสารตัวอย่างโพลีสไตรลีนที่ใช้ Inverted Microscope เลนส์ขนาดต่างๆดังนี้

ภาพที่ 4.1 แสดงลักษณะของเม็ดโพลีสไตรลีนที่ส่องด้วย Inverted Microscope เลนส์ขนาด 10X

4.1.1 Inverted Microscope เลนส์กำลังขยายขนาด 10X

จะแสดงลักษณะการกระจายตัวของเม็ดบีดโพลีสไตรลีน (Micro Polystyrene Beads) อย่างคร่าวๆซึ่งในการส่องด้วยกำลังขยายนี้เราจะทำการทดลองเพื่อสังเกตลักษณะการกระจายตัวอย่างหยาบๆของสารตัวอย่างที่นำมาทำการทดลองและเพื่อศึกษาลักษณะภายนอกรวมทั้งการโฟกัสของตัวอย่างอุปกรณ์และเลนส์ที่ใช้ว่าสามารถใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

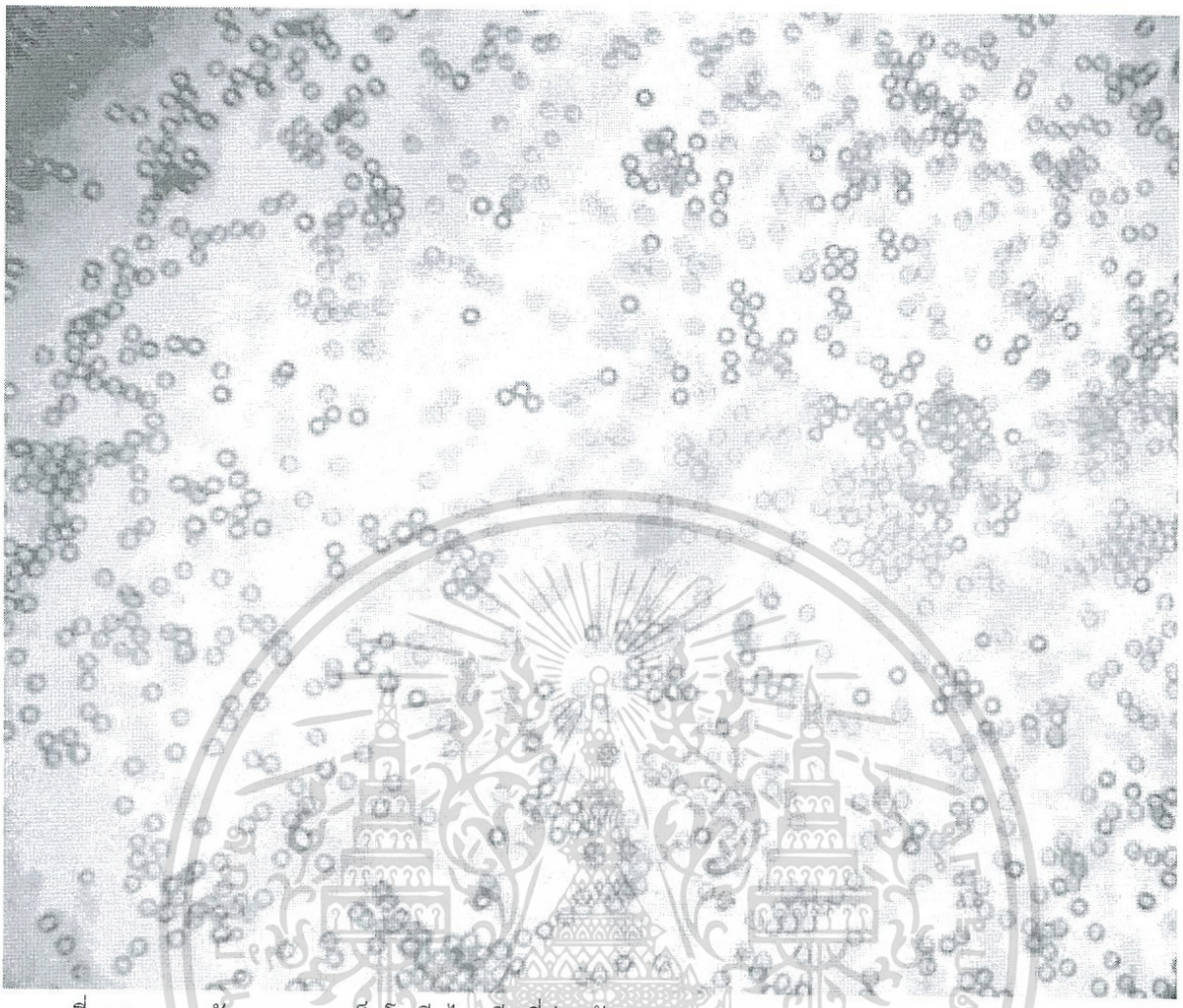


ภาพ ที่ 4.2 แสดงลักษณะของเม็ดโพลีสไตรลีนที่ส่องด้วย Inverted Microscope เลนส์ขนาด 20X

4.1.2 Inverted Microscope เลนส์ขนาด 20X

จะทำการส่องหลังจากที่ได้ลักษณะการกระจายตัวแล้วจะมองเห็นเม็ดบีดที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและสังเกตเห็นอนุภาคต่างๆได้ดีกว่ากำลังขยายคูณ 10 แต่ก็ยังไม่สามารถใช้ในการจับอนุภาคได้แต่ใช้สำหรับขยายเพื่อดูรายละเอียดของการกระจายตัวของอนุภาคที่มากขึ้นกว่าเดิมเพียงแค่นั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

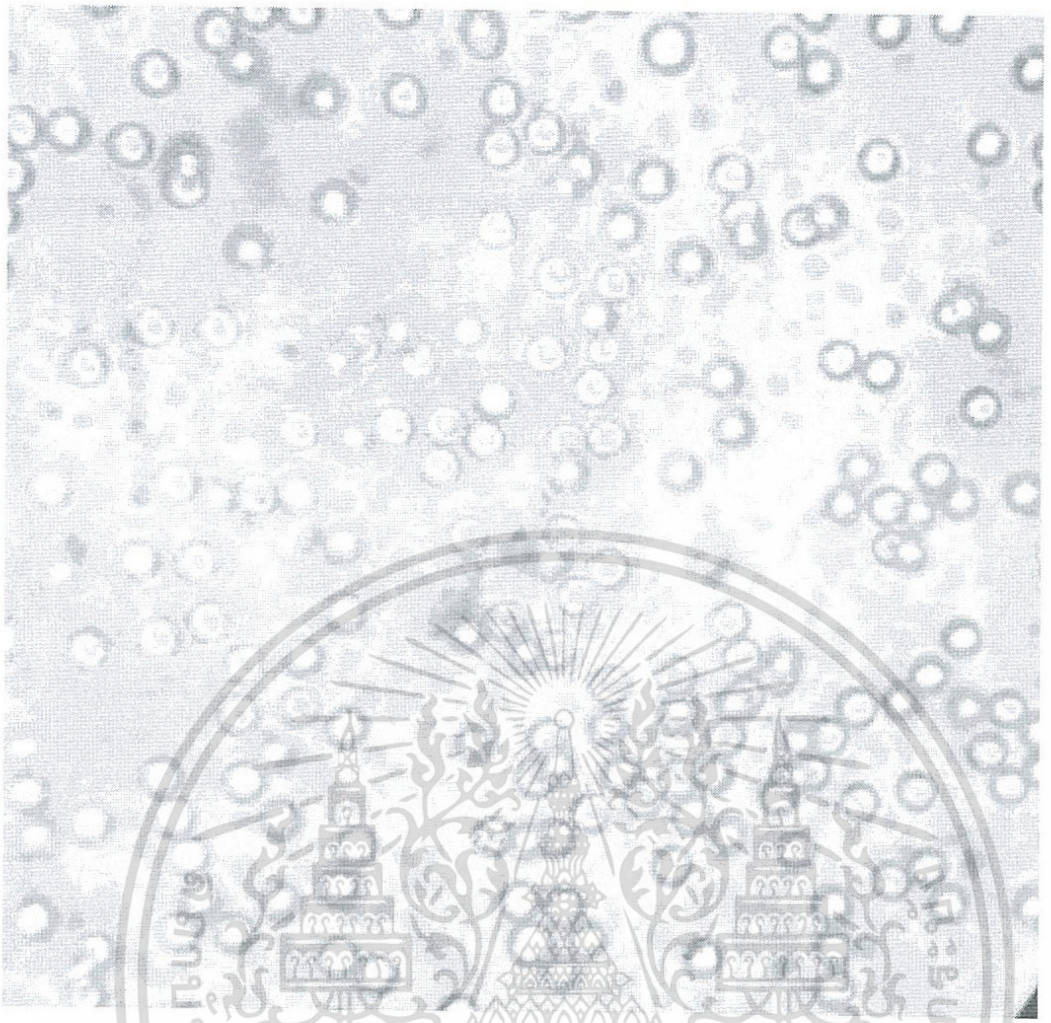


ภาพที่ 4.3 แสดงลักษณะของเม็ดโพลีสไตรลีนที่ส่องด้วย Inverted Microscope เลนส์ขนาด 40X

4.1.2 Inverted Microscope เลนส์ขนาด 40X

จะส่องเห็นลักษณะของอนุภาคแต่ละเม็ดได้ค่อนข้างดีมากขนาดใหญ่ขึ้นและชัดเจนมากกว่า 10x และ 20x แต่ก็ยังไม่สามารถที่จะใช้กำลังขยาย40X นี้ในการจับอนุภาคได้เนื่องจากจุดโฟกัสที่มีขนาดเล็กมากและลักษณะของอนุภาคที่โดนจับก็ไม่สามารถแยกแยะจากอนุภาคที่อยู่รอบข้างได้ชัดเจนมากนักรวมไปถึงขนาดของเม็ดบีดที่เล็กเกินกว่าที่จะสามารถบอกได้ว่าอนุภาคไหนที่ถูกจับอยู่ แต่ก็สามารถใช้ในการคาดเท่าได้แล้วว่าลักษณะการโฟกัสนั้นมีผลต่ออนุภาคมากน้อยเพียงใดโดยดูปฏิกิริยาตอบสนองของอนุภาคที่อยู่รอบๆลำแสงโฟกัสโดยรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



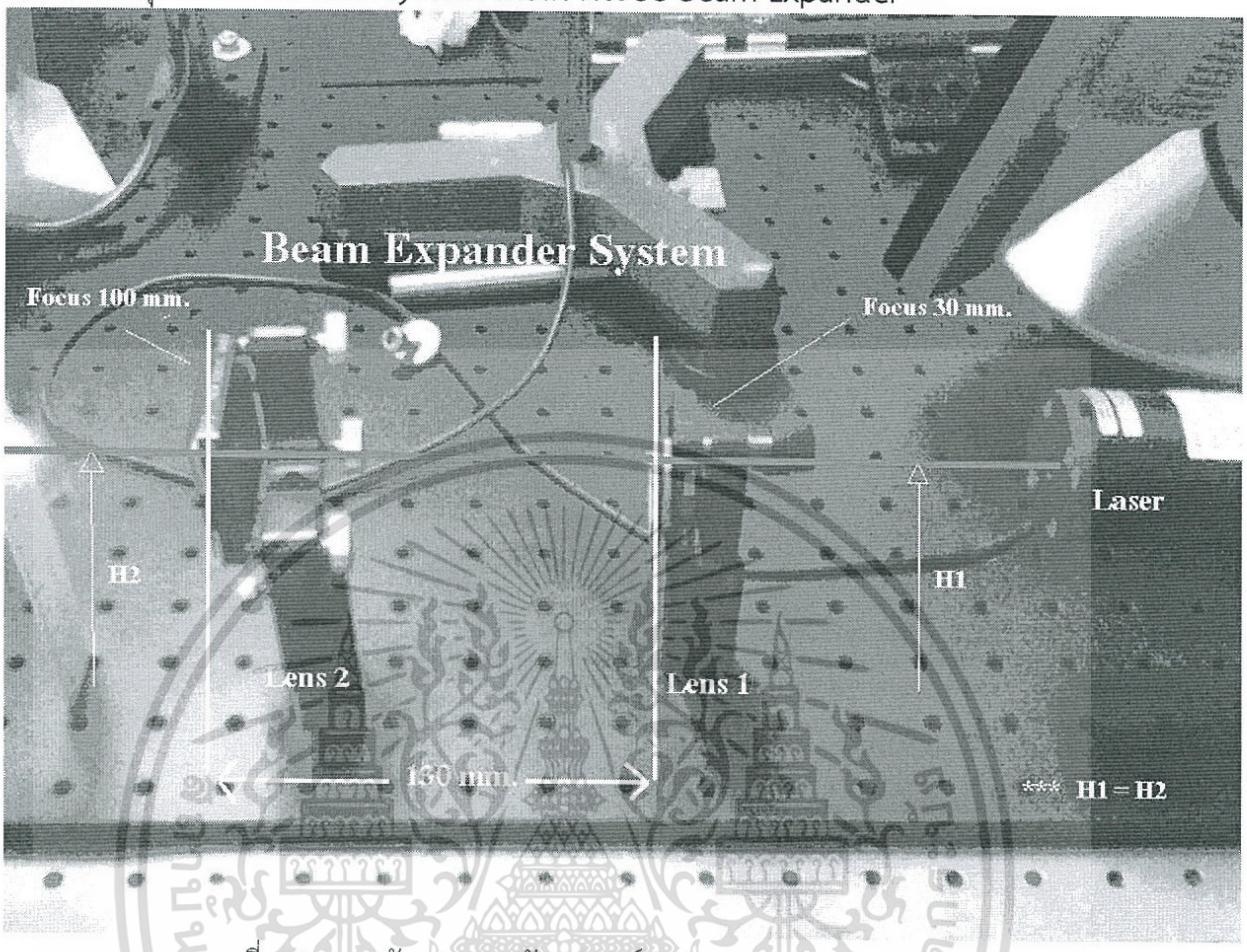
ภาพที่ 4.4 แสดงลักษณะของเม็ดโพลีสไตรลีนที่ส่องด้วย Inverted Microscope เลนส์ขนาด 100X

4.1.2 Inverted Microscope เลนส์ขนาด 100X

ผลที่ได้จากการทดลองคือจากกำลังขยายนี้ทำให้เราสามารถที่จะมองเห็นอนุภาคแต่ละตัวได้อย่างชัดเจนมากสามารถระบุตำแหน่งและลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคได้ว่าเป็นไปในลักษณะใด รวมไปถึงลักษณะจุดโฟกัสที่เกิดขึ้นและกำลังของแสงโฟกัสที่มีมากพอที่จะใช้ในการจับอนุภาคจึงเป็นเหตุผลที่สำคัญที่เราใช้กำลังขยายขนาด 100X ในการสร้างอุปกรณ์คีมจับเชิงแสงเพื่อใช้ในการจับอนุภาคเหล่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การจัดอุปกรณ์ Two Lens system เพื่อสร้างระบบ Beam Expander



ภาพที่ 4.5 แสดงลักษณะการจัดอุปกรณ์ Beam Expander

ผลการทดลองพบว่าอุปกรณ์สามารถใช้งานได้ดีนั้นจะต้องคำนึงถึงความละเอียดในการวางตำแหน่งของอุปกรณ์ที่ออกแบบไว้จากผลที่ได้จากการคำนวณซึ่งหากอุปกรณ์อยู่ในระยะที่ได้คำนวณเอาไว้อย่างถูกต้องจะทำให้ได้ขนาดของลำแสงที่ถูกขยายออกมาจากระบบมีความคงที่สมบูรณ์และมีความคมชัดของลำแสงสูงมากจากการคำนวณระยะของอุปกรณ์จากเลนส์ทั้งสองเลนส์นั้นซึ่งเลนส์ตัวที่ 1 มีระยะโฟกัสที่ 30 มิลลิเมตรและเลนส์ตัวที่ 2 มีระยะโฟกัสที่ 100 มิลลิเมตรนั้นพบว่าระยะห่างควรจะอยู่ห่างกัน 130 มิลลิเมตรซึ่งแสงที่ได้ควรมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 6.66 มิลลิเมตรและจากการวัดขนาดของแสงที่ถูกขยายแล้วพบว่าอุปกรณ์ที่จัดขึ้นนั้นสามารถขยายแสงได้เส้นผ่านศูนย์กลาง 6.65 มิลลิเมตรซึ่งอาจไม่ตรงตามการคำนวณ 100 เปอร์เซ็นต์โดยอาจจะมาจากปัญหาที่พบในการจัดอุปกรณ์อยู่ที่การปรับระนาบอุปกรณ์ของเลเซอร์นั้นจะต้องเท่ากันทั้งก่อนที่แสงจะเข้าอุปกรณ์และหลังจากที่แสงผ่านอุปกรณ์ Beam Expander ออกมาและถ้าจะให้มีความเหมาะสมที่สุดแสงเลเซอร์ที่ผ่านเลนส์ทั้งสองนั้นควรจะอยู่ตรงกลางของเลนส์ได้อย่างพอดีเพื่อลดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากเลเซอร์ตกไปยังขอบของเลนส์และระนาบที่สม่ำเสมอของเลเซอร์หลังผ่านอุปกรณ์ออกมาแล้วส่วนปัญหาที่ทำให้เกิดความบกพร่องนี้อาจจะมาจากระยะของเลนส์ที่คำนวณไว้ที่ 130 มิลลิเมตรอาจจะไม่อยู่ที่ 130 มิลลิเมตรพอดีจึงทำให้ขนาดของลำแสงที่ถูกขยายนั้นมีขนาดเล็กไปหรืออาจใหญ่ไปกว่าการคำนวณที่ควรจะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

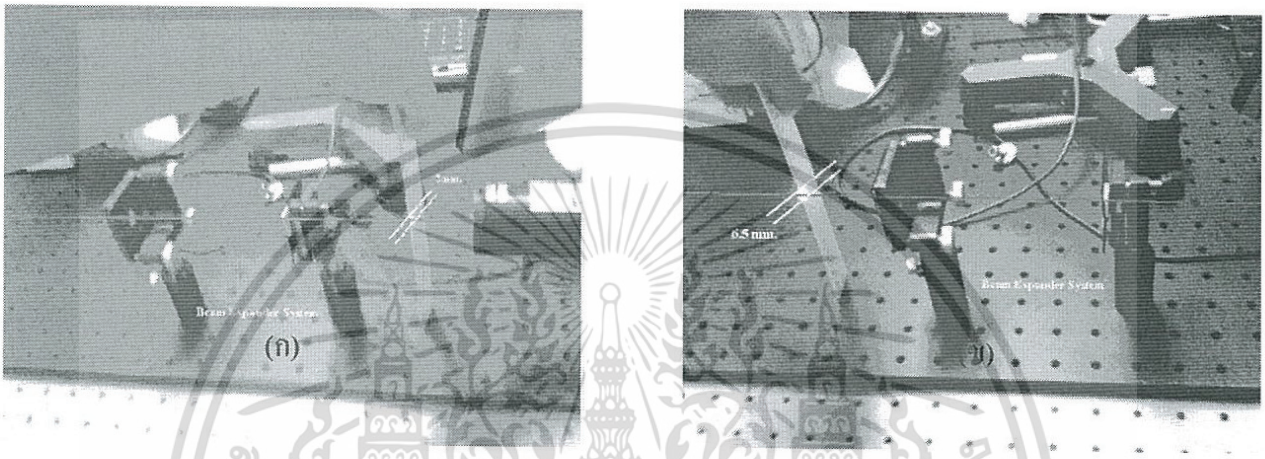
4.2.1การคำนวณระยะห่างระหว่างเลนส์

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าเลนส์ 1 มีระยะโฟกัสที่ 30 มิลลิเมตรและเลนส์ 2 มีระยะโฟกัสที่10มิลลิเมตร
จากระยะห่างระหว่างเลนส์ = ระยะโฟกัสของเลนส์ 1 + ระยะโฟกัสของเลนส์ 2

= 30 มิลลิเมตร + 100 มิลลิเมตร

= 130 มิลลิเมตร

4.2.2ผลการทดลองที่ได้จากการจัดอุปกรณ์ Beam expander



ภาพที่ 4.6ขนาดของแสงเลเซอร์ก่อน(ก) และหลัง(ข)จากผ่านเข้าอุปกรณ์ Beam Expander

จากผลการทดลองพบว่า

วิธีการคำนวณขนาดของเลเซอร์ที่ได้หลังจากผ่านอุปกรณ์ Beam Expander

จากสมการ

ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางหลังจากการขยาย $W_2 = (F_2/F_1)*W_1$

โดยที่ ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางก่อนขยาย (W_1) = 2 มิลลิเมตร

ระยะโฟกัสของเลนส์ตัวที่ 1 (F_1) = 30 มิลลิเมตร

ระยะโฟกัสของเลนส์ตัวที่ 2 (F_2) = 100 มิลลิเมตร

ดังนั้นจากสมการจะได้ว่า W_2 = (100มิลลิเมตร/30มิลลิเมตร) * (2มิลลิเมตร)

= 6.66 มิลลิเมตร

จากผลการทดลองแสดงโดยรูปที่ 4.6

ขนาดของลำแสงที่ถูกขยายจะเท่ากับ 6.65 มิลลิเมตร

คำนวณเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

= (ค่าจากทฤษฎี-ค่าจากการทดลอง)/ค่าจากทฤษฎี * 100

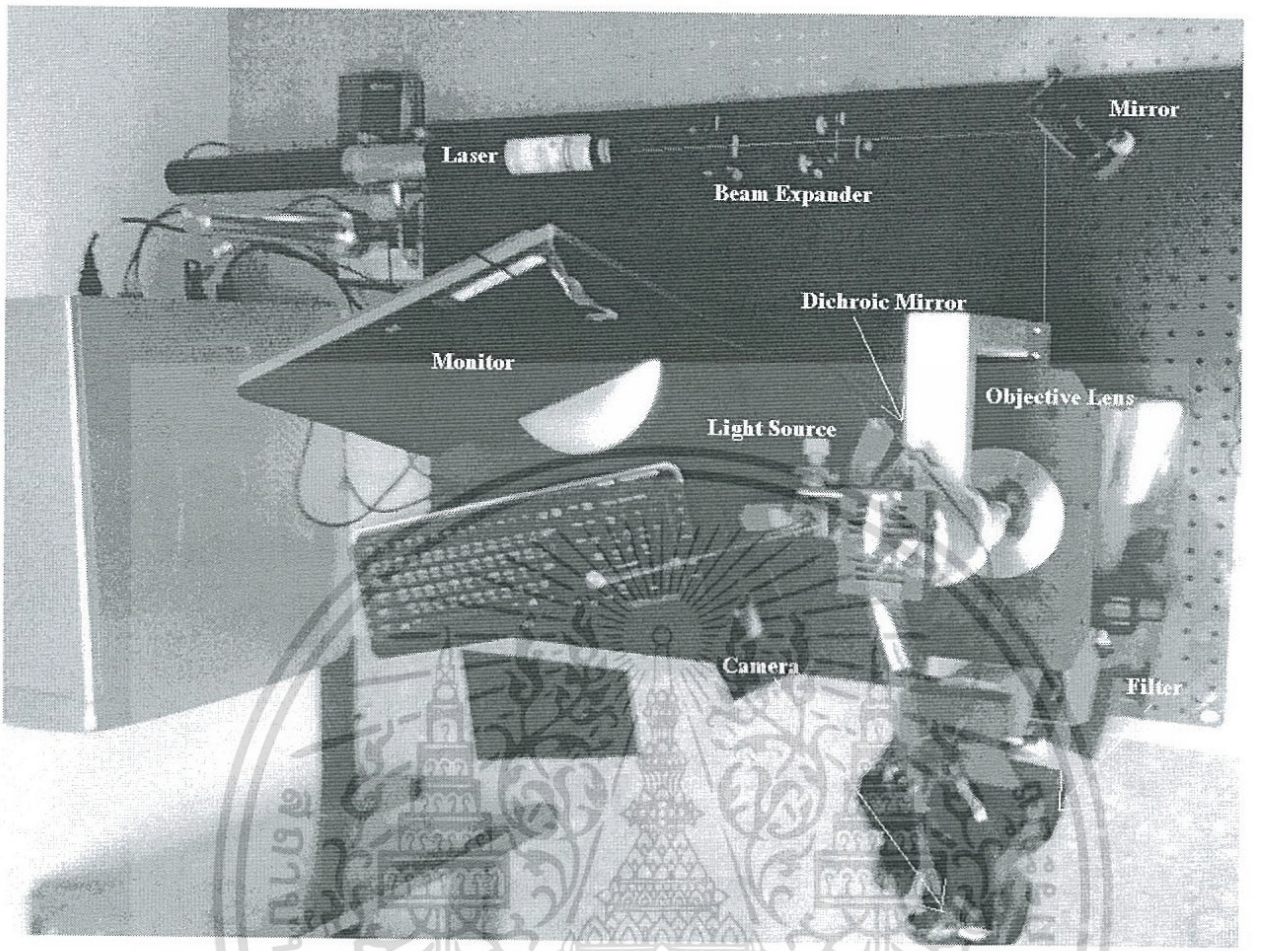
= (6.66 มิลลิเมตร – 6.65 มิลลิเมตร)/6.66 มิลลิเมตร * 100

= 0.1501 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้น เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดของอุปกรณ์จะเท่ากับ 0.1501

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ระบบ Optical Tweezers System

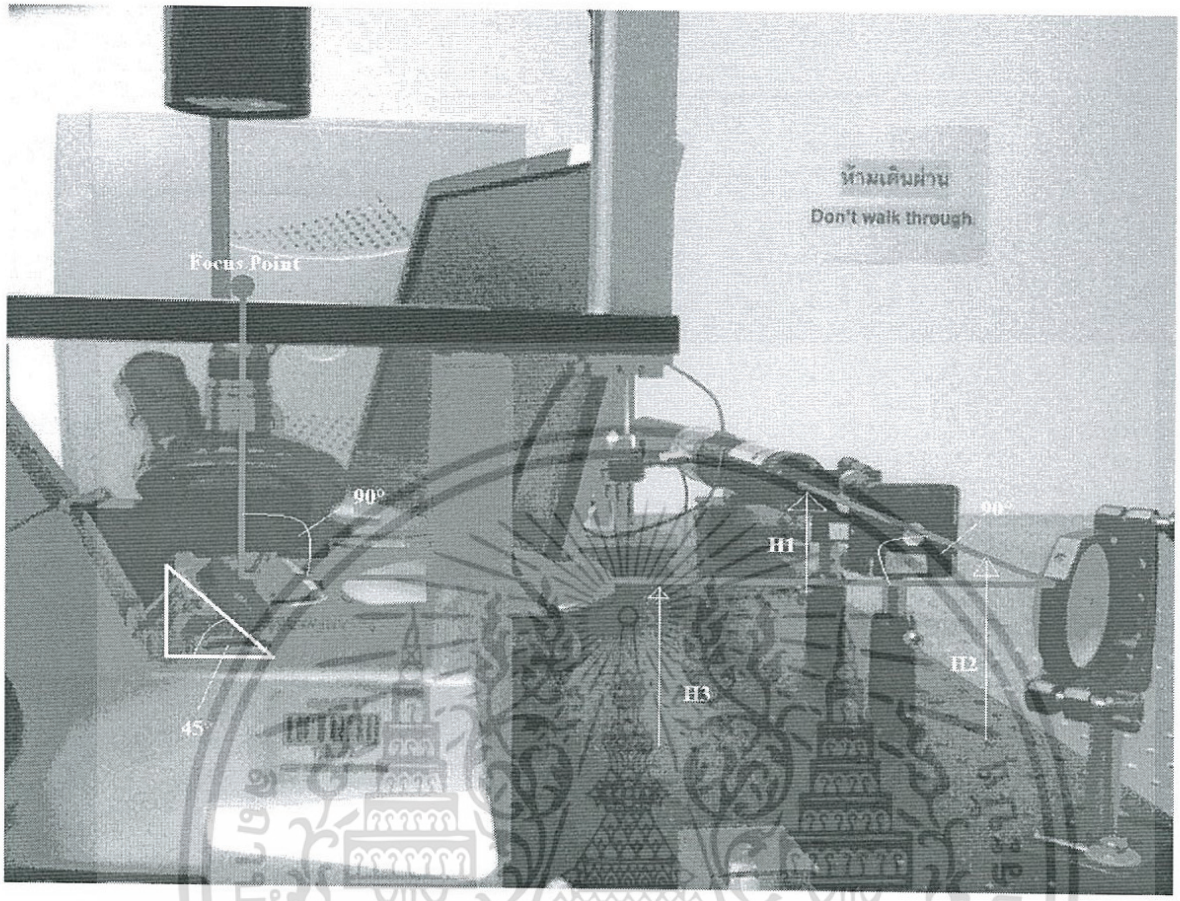


ภาพที่4.7 แสดงอุปกรณ์ Optical Tweezers ที่จัดทำขึ้น

จากการทดลองการจัดอุปกรณ์ตามที่ได้ออกแบบไว้จากรูปที่ 3.1 นั้นผลที่ได้เป็นไปตามรูปที่ 4.7 ซึ่งเป็นการวางตำแน่งอุปกรณ์ต่างๆโดยประยุกต์เข้ากับกล้องจุลทรรศน์ชนิดส่องขึ้นซึ่งประกอบไปด้วยระบบต่างๆที่ประกอบขึ้นจากที่ได้ออกแบบไว้ทั้งระบบ Beam Expander อุปกรณ์ที่ใช้เฝ้าดูระบบกล้องจุลทรรศน์ที่ทำการประยุกต์แล้วและอื่นๆซึ่งประกอบขึ้นด้วยกันเป็นอุปกรณ์คีมจับเชิงแสงอย่างง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 การจัดแนวของแสงและวิเคราะห์ปัญหาที่พบจากการจัดอุปกรณ์



ภาพที่ 4.8 ลักษณะการวางตำแหน่งและการจัดมุมของอุปกรณ์ต่างๆ

จากการทดลองการจัดตำแหน่งและการวางอุปกรณ์พบว่าเริ่มต้นอุปกรณ์จากการที่เมื่อแสงผ่านออกมาจากอุปกรณ์ Beam Expander ออกมาแล้วซึ่งจากรูปที่ 4.8 จะเห็นว่าความสูงของลาแสง H1 , H2 ที่ออกมาจากอุปกรณ์ Beam Expander จะต้องเท่ากันและเมื่อแสงผ่านมาที่กระจกสะท้อนแสงออกไปนั้นความสูง H3 ก็จะต้องเท่ากับความสูงของลำแสง H1 และ H2 ด้วยการปรับระดับให้เท่ากันนี้เพื่อไม่ทำให้แสงถูกงัดขึ้นหรือถูกกดลงนั้นเองคือลำแสงที่ผ่านออกมาจะต้องอยู่ในระนาบ 180 องศาพอดี

ซึ่งหากไม่ได้180องศาพอดีนั้นจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนต่ออุปกรณ์ชิ้นต่อไปด้วยและในขณะเดียวกันกระจกสะท้อนแสงก็จะต้องทำมุม 45 องศากับแสงที่ออกมาจาก Beam Expander เพื่อให้แสงที่เข้ามายังกระจกสะท้อนแสงและแสงที่ออกจากกระจกสะท้อนแสงทำมุม 90 องศากันพอดีทั้งนี้ก็เพื่อลดความผิดพลาดในการจัดอุปกรณ์ของระบบต่อไปนั้นก็คืออุปกณ์ Dichroic Mirror

เมื่อเราได้ลำแสงที่ทั้งระยะของความสูงและระยะของมุมที่ใช้ได้แล้วลำแสงจะถูกส่งไปที่ Dichroic Mirror ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมากที่สุดชิ้นหนึ่งเลยทีเดียวเมื่อแสงผ่านเข้ามายัง Dichroic Mirror การจัดอุปกรณ์นี้คือเริ่มจากอุปกรณ์จะต้องทำมุม 45 องศากับแสงที่เข้ามา 180 องศาซึ่งจะทำให้อุปกรณ์นี้สะท้อนแสงขึ้นไป 90 องศาพอดีแต่ลำแสงจะต้องปรับให้อยู่ตรงกลางเลนส์มากที่สุดและในขณะเดียวกันระยะของความสูงและระยะของตำแหน่งของอุปกรณ์ Dichroic Mirror จะต้องอยู่ตรงกลางระหว่างกล้องที่ต่อกับเลนส์ไกล์ตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อยู่ด้านล่างและอุปกณ์ Objective Lens ที่อยู่ด้านบนพอดีซึ่งอุปกรณ์ 2 ตัวนี้ไม่สามารถปรับให้เคลื่อนที่ได้เนื่องมาจากถูกติดตั้งเข้ากับอุปกรณ์ของกล้องจุลทรรศน์แบบส่องขึ้นชนิดนี้อยู่โดยปกติของอุปกรณ์อยู่แล้วและนี้คือปัญหาที่สำคัญที่สุดของการจัดอุปกรณ์คีมจับเชิงแสงเลยก็ว่าได้เนื่องจากว่าการจัดอุปกรณ์นั้น Dichroic Mirror ทั้งตำแหน่งและระยะจะต้องอยู่ตรงกลางที่สุดและพร้อมกับทำมุม 45 องศาและจะต้องไม่เบนเข้าหรือออกด้วยเนื่องจากว่าหากแสงที่ผ่านอุปกรณ์ออกไปนั้นก็จะไม่ทำให้เกิดการโฟกัสที่อุปกรณ์ Objective lens ได้ซึ่งหมายความว่าจะทำให้เราไม่สามารถจับอนุภาคได้ด้วยเช่นกันนี้จึงเป็นปัญหาใหญ่และสำคัญมากในการสร้างคีมจับเชิงแสง

และหลังจากที่เราสามารถที่จะทำให้อุปกรณ์ทุกอย่างอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องแม่นยำและสามารถทำให้แสงโฟกัสได้แล้วนั้นก็จะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการดูการทำงานของคีมจับเชิงแสงนั้นก็คืออุปกรณ์มอนิเตอร์เราจะสามารถมองดูการทำงานของคีมจับเชิงแสงโดยการที่มองจากกล้องที่ต่อกับเลนส์ใกล้ตาซึ่งจะต้องใช้ฟิลเตอร์ (filter) ในการกรองแสงก่อนเข้ากล้องเพื่อให้สามารถมองเห็นลักษณะของสารตัวอย่างที่ต้องการจับและปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นหากไม่มีตัวกรองแสงเราก็ไม่สามารถมองเห็นอนุภาคและลักษณะการโฟกัสของลำแสงได้เลยซึ่งจากการทดลองอย่างง่ายนี้ผู้ทดลองได้ใช้กล้องเว็บแคม (Web Cam) ปกติโดยนำตัวกรองแสงสีแดงที่มีวางไว้ด้านหน้าของกล้องแล้วต่อเข้ากับจอคอมพิวเตอร์โดยเราจะทำการมองผ่านจอมอนิเตอร์ของคอมพิวเตอร์แทนการมองโดยตรงผ่านเลนส์ใกล้ตาเนื่องจากอาจเป็นอันตรายต่อผู้ทดลองได้ซึ่งจากการทดลองใช้อุปกรณ์อย่างง่ายที่กล่าวไปนี้พบว่าอุปกรณ์ค่อนข้างมีประสิทธิภาพดีในการเฝ้าดูและสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริงเลยทีเดียว

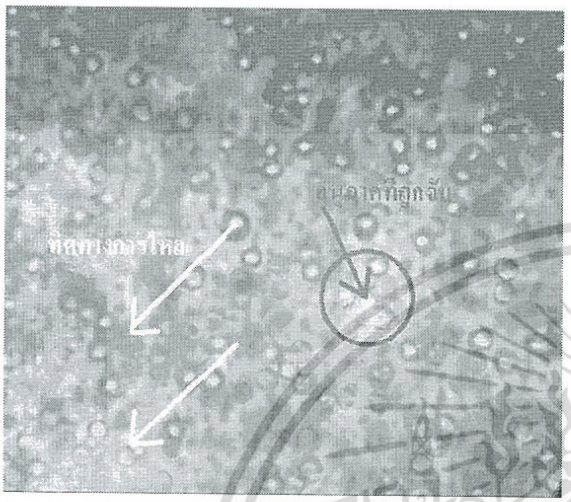
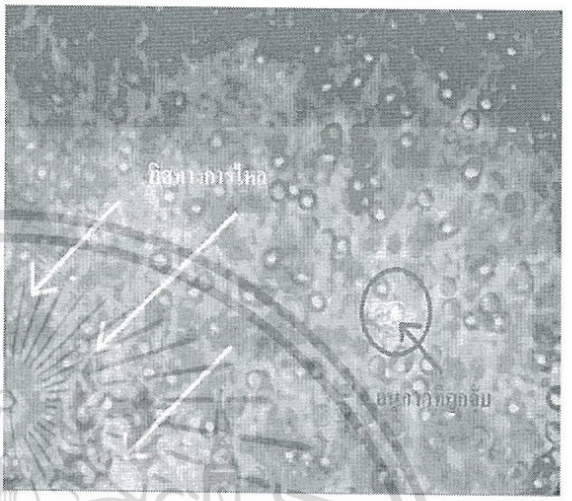
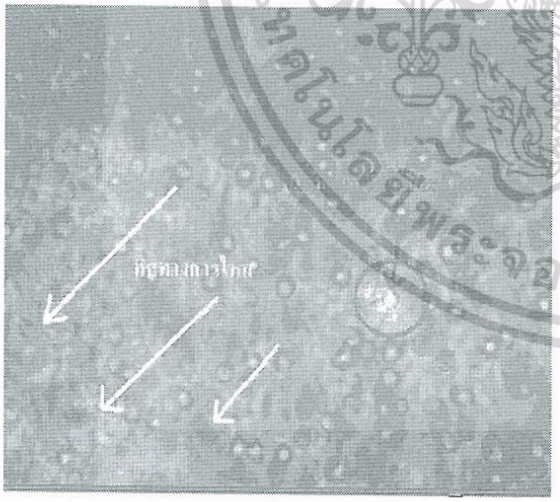
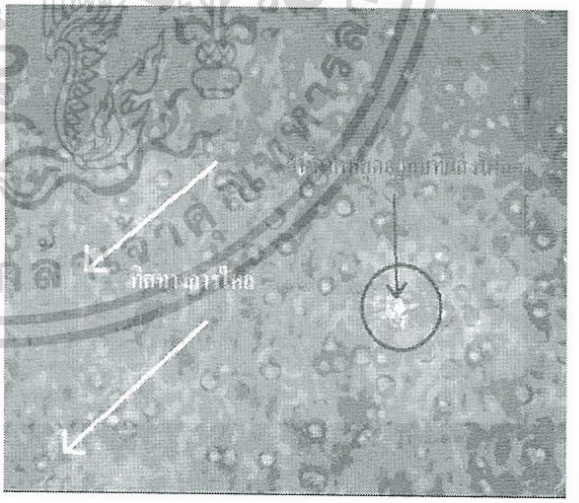
ต่อเมื่อเราจัดอุปกรณ์เสร็จแล้วเราต้องการทำการทดลองในการจับอนุภาคจริงๆนั้นเราจะต้องใช้ Objective lens ที่มีกาลังขยาย100Xขึ้นไปในการจับอนุภาคเนื่องจากมีกำลังที่สูงพอและสามารถที่จะเห็นอนุภาคที่จับรวมทั้งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจนแต่เนื่องจากการทดลองนี้ต้องประยุกต์เข้ากับกล้องจุลทรรศน์แบบส่องขึ้นซึ่งโดยปกติแล้วกำลังขยายของเลนส์ที่ใช้กับกล้องชนิดนี้ก็ไม่ถึงขนาด 100X ดังนั้น Objective Lens ขนาด 100X จึงมีความยาวของตัวอุปกรณ์มากกว่าจึงควรระวังในการติดตั้งและการทดลองเนื่องจากตัวเลนส์ที่มีความยาวกว่าอาจจะชูดเข้ากับอุปกรณ์ด้านบนได้และอีกอย่างหนึ่งก็คือเมื่อเราทำการติดตั้ง Objective Lens เลนส์แล้วสารตัวอย่างที่ต้องการดูหรือจับโดยเลนส์ขนาด 100X จะต้องอยู่บนแผ่นสไลด์ที่มีความหนาไม่เกิน 1 มิลลิเมตรเท่านั้นเนื่องจากเลนส์ใกล้วัตถุขนาด 100X นี้จะต้องจุ่มน้ำมันก่อนและจะต้องอยู่ใกล้กับสารตัวอย่างที่นำมาทดลองมากๆนั้นเนื่องจากระยะทำงานของตัวอุปกรณ์เองที่สั้นมากๆซึ่งจากการศึกษาทดลองนั้นพบว่ากลาสไสลด์แบบปกติไม่สามารถใช้งานได้เนื่องจากมีความหนามากเกินไปและปัญหาที่พบเมื่อเราทำการปล่อยเลเซอร์และทำการทดลองไปสักระยะหนึ่งจะสังเกตเห็นว่าสารตัวอย่างของเราซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในของเหลวนั้นจะเริ่มแห้งและจะแห้งลงเร็วมากในที่สุดของเหลวก็จะระเหยไปหมดเหลือแค่อนุภาคที่จับตัวกันเป็นก้อนซึ่งไม่สามารถจะจับหรือทำการทดลองต่อไปได้อีกเพราะฉะนั้นในการทำการทดลองควรจะมีตัวเก็บสารตัวอย่างหรืออุปกรณ์ Container ที่ดีที่ใช้ในการกักเก็บตัวอย่างทดลองซึ่งคุณสมบัติคือต้องสามารถกับเก็บของเหลวได้และมีความบางมากพอเพื่อใช้ในการทดลองนั้นหากไม่เช่นนั้นเมื่อเราทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

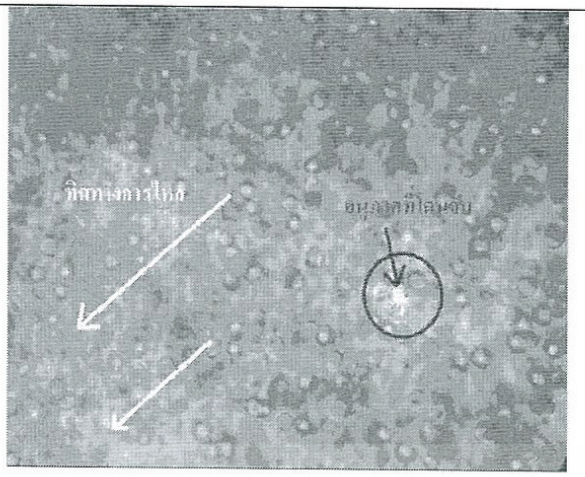
ทดลองไปแค่สักระยะหนึ่งของเหลวที่เป็นตัวแปรหนึ่งในการทดลองก็จะเปลี่ยนสภาพไปและลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคในของเหลวก็จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วยทำให้ยากต่อการทดลองและการวัดผลใดๆ

4.4 การจับอนุภาค

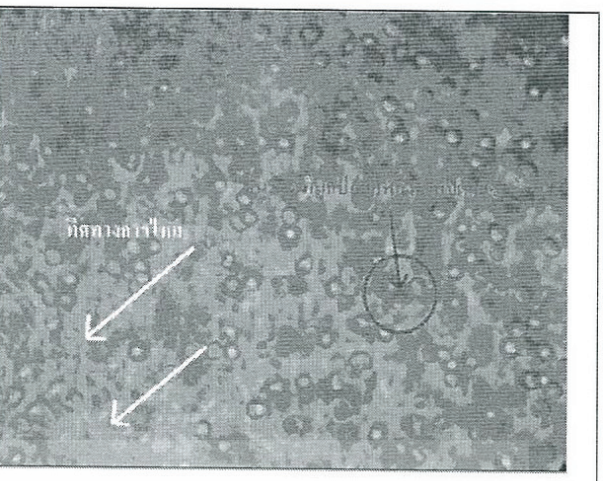
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองแสดงภาพลักษณะอนุภาคที่ถูกจับ ณ เวลาต่างๆ

<table>
<tr>
<td> 
1.) วินาทีที่ 0 อนุภาคที่เคลื่อนที่ในของไหลโดนจับเมื่อเริ่มเปิดเลเซอร์</td>
<td> 
2.) วินาทีที่ 3 อนุภาคที่อยู่ใกล้จุดโฟกัสถูกจับไว้ในลำแสง</td>
</tr>
<tr>
<td> 
3.) วินาทีที่ 5 อนุภาคที่ถูกจับเอาไว้จะมีลักษณะสั่นอยู่ภายในจุดโฟกัส</td>
<td> 
4.) วินาทีที่ 7 อนุภาคยังคงถูกจับอยู่ในจุดโฟกัสส่วนอนุภาคอื่นๆก็เคลื่อนที่ผ่านไป</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
</tr>
</table>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



5.) วินาทีที่ 9 อนุภาคที่อยู่ใกล้สุดบางตัวก็ถูกดึงดูดเข้าหาจุดโฟกัส



6.) วินาทีที่ 11 เมื่อปิดแสงเลเซอร์จะเห็นอนุภาคที่ตำแหน่งของจุดโฟกัส

ผลการทดลองจากตารางที่ 4.1 นั้นพบว่าเมื่อเราทำการจัดอุปกรณ์และสามารถสร้างลำแสงโฟกัสได้แล้วนั้นเมื่อเราปล่อยแสงเข้าไปในของเหลวที่มีอนุภาคเคลื่อนที่อยู่เริ่มต้นจากรูปที่ 1 ในตารางที่ 1 จะพบว่าอนุภาคอย่างน้อยหนึ่งตัวจะถูกจับเอาไว้ในลำแสงโฟกัสแต่เนื่องจากลeแสงโฟกัสนั้นมีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคที่จับได้เล็กน้อยจึงส่งผลต่ออนุภาคที่อยู่ใกล้ที่สุดรอบข้างของอนุภาคที่ถูกจับประมาณสองถึงสามอนุภาคด้วยโดยถูกอิทธิพลของแรงที่เกิดจากแสงนี้ดึงดูดเข้าหาจุดโฟกัสแต่ก็ไม่มากพอที่จะจับเอาไว้ให้อยู่กับที่ได้จากการสังเกตต่อมาในรูปที่ 2 อนุภาคที่อยู่ภายในลำแสงโฟกัสจะหยุดและมีลักษณะสั่นไปมาอยู่ภายในลำแสงโฟกัสแต่ไม่ได้เคลื่อนที่ไปตามลักษณะการเคลื่อนที่ของของเหลวที่อนุภาคตัวอื่นบรรจุอยู่ซึ่งจะเห็นได้เนื่องจากอนุภาคที่ไม่ได้อยู่ในลำโฟกัสนั้นจะเคลื่อนที่ไปเรื่อยๆตามกระแสเคลื่อนที่ของของเหลวที่บรรจุแต่อนุภาคที่ถูกจับได้ในลำโฟกัสนั้นจะอยู่กับที่เช่นเดียวกับรูปที่ 3 4 และ 5 นั้นเองแต่จะพบว่าเมื่ออนุภาคที่เคลื่อนที่เข้ามาใกล้กับลำแสงโฟกัสก็จะโดนหน่วงโดยลำแสงให้เคลื่อนที่ช้าลงมากกว่าอนุภาคที่ไม่ได้เข้าใกล้ลำแสงเลยนั้นแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าแรงเนื่องจากแสงนั้นมีผลต่ออนุภาคอย่างเห็นได้ชัดตามหลักการและทฤษฎีที่ได้ทาการศึกษามาและจากรูปที่ 5 เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 6 แล้วจะสังเกตได้ว่าจากรูปที่ 5 นั้นยังคงมีเลเซอร์จับอนุภาคอยู่แต่เมื่อเราทำการปิดเลเซอร์ตามรูปที่ 6 แล้วจะเห็นอนุภาคที่เคยโดนจับอยู่เคลื่อนที่ออกไปจากตำแหน่งที่เคยอยู่เดิมนั้นแสงให้เห็นว่าอุปกรณ์ที่จัดทำขึ้นรวมถึงวิธีการที่ได้ใช้ในการทดลองจับอนุภาคของอุปกรณ์คีมจับเชิงแสงอย่างง่ายนี้มีประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาคได้ตามทฤษฎีที่วางไว้นั้นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

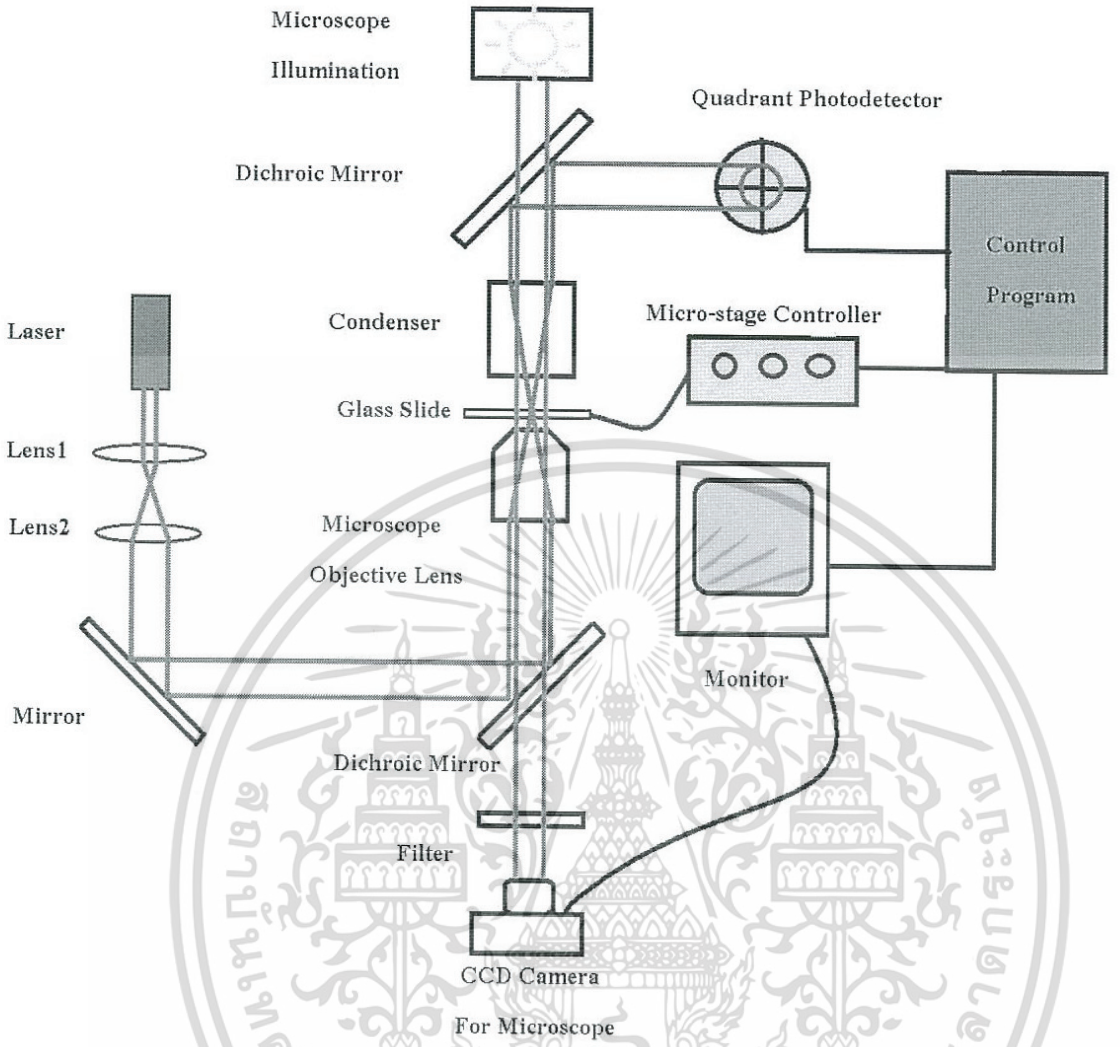
5.1สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองและผลการทดลองในการสร้างอุปกรณ์คีมจับเชิงแสงอย่างง่ายเพื่อทำการจับอนุภาคขนาดเล็กในระดับไมครอนนี้พบว่าเนื่องจากเป็นการศึกษาและทดลองสร้างอุปกรณ์จากอุปกรณ์อย่างง่ายและประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ทางแสงต่างๆที่มีและผู้ทดลองสามารถหาได้นั้นพบว่าเกิดปัญหามากมายในการสร้างและการจัดอุปกรณ์ทั้งปัญหาที่เกิดจากการวัดการเฝ้าดูและการตรวจจับตำแหน่งหรือการปรับเพื่อประยุกต์ใช้งานต่างๆซึ่งเป็นผลให้ต้องมีการปรับปรุงอุปกรณ์และวิธีการอย่างมากแต่ผลที่ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าทั้งวิธีการออกแบบระบบที่ได้ทาการออกแบบไว้และวิธีการจัดอุปกรณ์รวมไปถึงอุปกรณ์อย่างง่ายที่ผู้ทดลองนามาประยุกต์ใช้ในการสร้างอุปกรณ์คีมจับเชิงแสงนี้รวมถึงวิธีการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นนั้นประสบความสำเร็จในการจับอนุภาคและถือว่าเป็นการเริ่มต้นที่ดีในการสร้างอุปกรณ์คีมจับเชิงแสงที่มีประสิทธิภาพในระดับสูงต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะในการสร้างอุปกรณ์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

เนื่องจากการทดลองที่ผ่านมานี้อยู่ในขั้นเริ่มต้นของการศึกษาทดลองโดยเริ่มจากทฤษฎีและนำไปสู่การสร้างอุปกรณ์จริงในระยะเริ่มแรกนั้นก็คือพิสูจน์ให้เห็นได้แล้วว่าจากทฤษฎีที่ได้ศึกษามานั้นสามารถให้วิธีการต่างๆในการจับอนุภาคได้ด้วยแสงนั้นคือเป้าหมายหลักของโครงงานนี้และเนื่องจากประสบความสำเร็จในการเริ่มต้นจากการจับอนุภาคได้แล้วนั้นจึงนำไปสู่การวางแผนในการสร้างอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพในการวัดผลและตรวจสอบรวมทั้งนำไปสู่การประยุกต์ใช้งานได้จริงทั้งในระบบอุตสาหกรรมและการประยุกต์ใช้งานเพื่อแก้ปัญหาในด้านต่างๆหรือนำไปสู่การศึกษาค้นคว้าใหม่การที่อุปกรณ์จะไปสู่จุดนั้นได้นั้นจะต้องทำการปรับปรุงแก้ไขอุปกรณ์ให้มีความเที่ยงตรงและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นโดยการเพิ่มระบบต่างๆเข้าไปซึ่งผู้ทดลองจะอ้างอิงข้อเสนอแนะจากโครงงานนี้เท่านั้นและจะคำนึงถึงอุปกรณ์ที่ควรจะมีมากที่สุดเป็นลำดับไปเพื่อการสร้างอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดทั้งในด้านการศึกษาทดลองและยังช่วยการลดต้นทุนในการสร้างอุปกรณ์การออกแบบระบบคีมจับเชิงแสงโดยอ้างอิงจากการออกแบบคีมจับเชิงแสงอย่างง่ายของโครงงานนี้เป็นไปตามรูปที่ 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

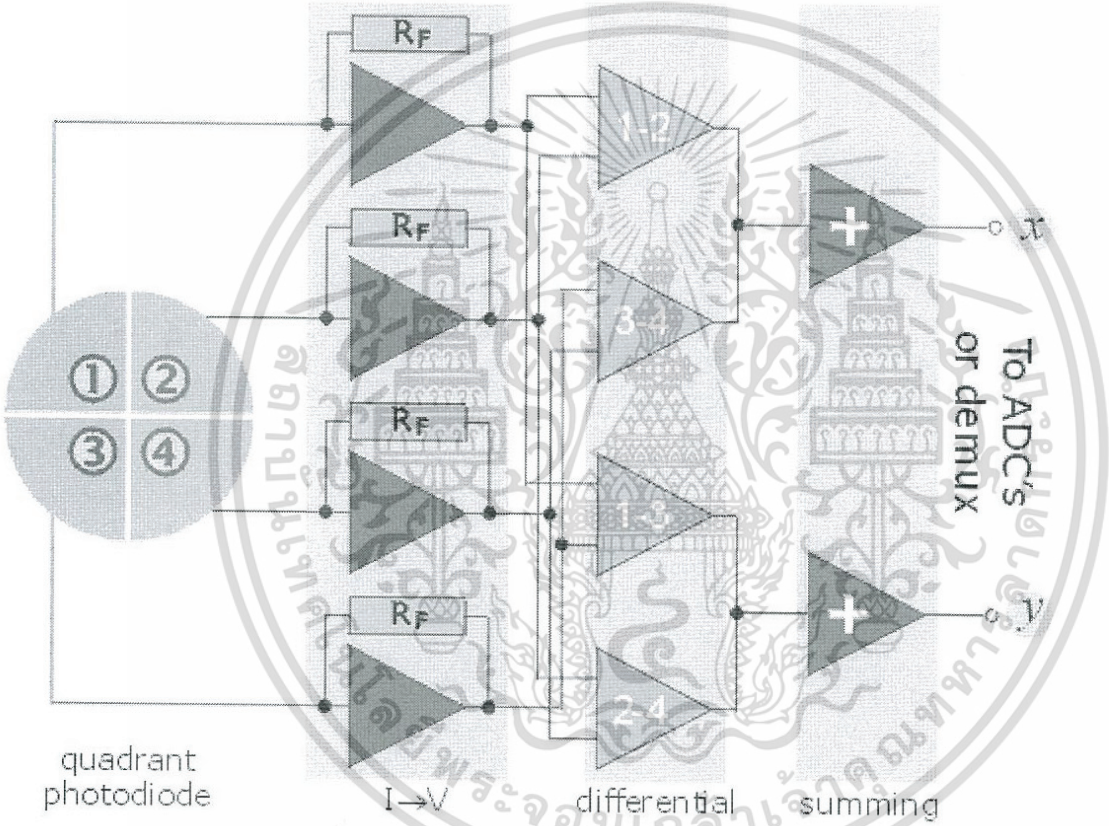


ภาพที่ 5.1 การออกแบบเพื่อปรับปรุงระบบคีมจับเชิงแสงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

จากรูปที่ 5.1 แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นโดยเริ่มจากอุปกรณ์ปกติที่ใช้ในการเฝ้าดูนั้นก็คือกล้อง CCD Camera ที่เหมาะสมกับกล้องจุลทรรศน์ Olympus CK30/CK40 ที่ผู้ทดลองนามาใช้เนื่องจากอุปกรณ์ที่ผู้ทดลองนำมาใช้ในการเฝ้าดูในโครงงานนี้เป็นกล้องWeb Cam ธรรมดามากซึ่งให้ภาพและความละเอียดในการเฝ้ามองค่อนข้างต่ำและอีกอย่างหนึ่งก็คือผู้ทดลองใช้การมองของกล้อง Web Cam ผ่านระบบ Eye Pieces ของกล้องจุลทรรศน์เท่านั้นทำให้การปรับโฟกัสและระยะของภาพรวมไปถึงการปรับระดับของภาพมีข้อจำกัดเป็นอย่างมากซึ่งหากปรับปรุงอุปกรณ์ที่ใช้เฝ้าดูจากกล้องWeb Cam ปกติเป็นกล้อง CCD ที่เฉพาะเจาะจงกับระบบของกล้องจุลทรรศน์ที่ผู้ทดลองได้นำมาศึกษานี้จะทำให้เกิดประสิทธิภาพในการเฝ้าดูมากยิ่งขึ้นแน่นอนซึ่งจะเห็นได้ว่าหากต้องการที่จะทำให้อุปกรณ์มีประสิทธิมากยิ่งขึ้นนั้นระบบในการเฝ้าดูนั้นเป็นสิ่งที่จำเป็นเป็นลำดับต้นๆของการสร้างอุปกรณ์เลยที่เดียวเนื่องจากหากเราไม่สามารถที่จะเห็นการเปลี่ยนแปลงหรือปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการการจับอนุภาคได้นั้นแน่นอนว่าการแก้ไขปัญหาในส่วนอื่นย่อมจะยากขึ้นอย่างแน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อมาส่วนที่เพิ่มขึ้นจากการเฝ้าดูนั้นก็คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดตำแหน่งของเลเซอร์ว่าอยู่ในตำแหน่งตรงกลางหรือไม่นั้นก็คืออุปกรณ์Photo Detector ซึ่งจะทำหน้าที่ในการตรวจวัดตำแหน่งของลำแสงเลเซอร์ที่โฟกัสว่าอยู่ที่ตำแหน่งใดซึ่งจากการออกแบบจากรูปที่ 5.1 นั้นผู้ทดลองได้ออกแบบให้ระบบตรวจวัดตำแหน่งนี้สามารถช่วยให้ผู้ทดลองรู้ว่าตำแหน่งโฟกัสของอุปกรณ์นั้นอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องหรือไม่เพื่อทำการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงหากไม่อยู่ในระยะที่ถูกต้องเพราะหากว่าแสงเลเซอร์ไม่อยู่ในระยะที่ถูกต้องก็จะมีผลต่อการดักจับและประสิทธิภาพในการจับอนุภาคเช่นเดียวกันซึ่งจากรูปที่ 5.2 จะแสดงลักษณะวงจรตัวอย่างของอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งโดยทั่วไปซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างให้อุปกรณ์คีมจับเชิงแสงนี้มีประสิทธิภาพในการจับอนุภาคมากขึ้นไปด้วยเช่นกัน



ภาพที่ 5.2 แสดงไดอะแกรมของวงจรตรวจจับตำแหน่งของแสงเลเซอร์

ต่อมาจากรูปที่ 5.1 ส่วนที่ควรเพิ่มเติมที่ออกแบบไว้ก็คือตัวควบคุมการเคลื่อนที่ของ stage แล้วเมื่อเราสามารถทำการจับอนุภาคได้แล้วนั้นอนุภาคที่จับได้ก็จะอยู่ในจุดโฟกัสของแสงเลเซอร์ซึ่งอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นควรที่จะสามารถเคลื่อนที่เพื่อเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคที่ทำการจับอยู่โดยแทนที่เราจะเคลื่อนย้ายเลเซอร์ไปตามตำแหน่งต่างๆก็เปลี่ยนเป็นเราเคลื่อนย้าย Stage แทนซึ่งในการเคลื่อนย้ายนี้จะต้องเคลื่อนย้ายความละเอียดอยู่ในระดับไมครอนเนื่องจากอนุภาคที่เราทำการจับอยู่ในสเกลนี้ดังนั้นแน่นอนว่าเราจะใช้มือในการเคลื่อนย้ายไม่ได้อย่างแน่นอนเพราะจะทำให้เกิดความผิดพลาดเราจึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ในระดับไมครอนรวมไปถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมที่ควรออกแบบไว้ในการจัดการกับการเคลื่อนย้ายไปตำแหน่งต่างๆซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการเพิ่มศักยภาพของอุปกรณ์นี้ให้มากขึ้น

จากการออกแบบและปรับปรุงอุปกรณ์ตามที่ผู้ทำการทดลองได้ให้ข้อเสนอแนะนี้ไว้ หากสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงแก้ไขตามที่ผู้ทำการทดลองได้เสนอแนะไว้แล้วจะทำให้อุปกรณ์คีมจับเชิงแสงนี้สามารถนำไปใช้งานได้จริงในด้านต่างๆโดยจุดประสงค์หลักของอุปกรณ์นี้คือประยุกต์ในด้านชีววิทยาขนาดเล็กและแน่นอนว่าอุปกรณ์นี้สามารถช่วยในการแก้ไขปัญหาพร้อมทั้งสามารถสร้างสรรค์ความรู้ใหม่ๆได้อีกมากมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม/เอกสารอ้างอิง

Miles J. Padgett , Justin E. Molloy and David McGloin , "Optical Tweezers Methods and Applications ", Taylor & Francis Group , New York ,2000

พ.ต.สุวัฒน์วงศ์จันทร์ฉายแสงและคณะ , "คีมจับเชิงแสง:อีกนวัตกรรมสำคัญในการพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี " , กันยายน-ตุลาคม 2551

Svoboda K., Block S. M. "Biological applications of optical forces." , Annual Review of Biophysics and Biomolecular Structures , Princeton University , 1994

Smith S. P., Bhalotra S. R., Brody A. L., Brown B. L., Boyda E. K., Prentiss M. "Inexpensive optical tweezers for undergraduate laboratories." , Harvard University , 1998

H.Daniel Ou-Yang.,Ming-Tzo Wei."Complex Fluids : Probing Mechanical Properties of Biological Systems With Optical Tweezers" Lehigh University , 2010

[online].Available : www.en.wikipedia.org/wiki/Optical_tweezers

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้