

การศึกษาระบบเลเซอร์ฮีเลียม - นีออน

A STUDY OF HELIUM-NEON LASER SYSTEM



สุรชาติ กมลดิลก
SURACHAT KAMOLDILOK

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดำเนินการตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาที่ศึกษาระดับปริญญาตรี

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545

ISBN 974-648-772-8

การศึกษาระบบเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน

A STUDY OF HELIUM-NEON LASER SYSTEM



สุรชาติ กมลดิлок

SURACHAT KAMOLDILOK

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 43292
วัน, เดือน, ปี 26 ส.ค. 2545

b.....
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545

ISBN 974-648-772-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY OF HELIUM-NEON LASER SYSTEM



SURACHAT KAMOLDILOK

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN APPLIED PHYSICS**

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2002

ISBN 974-648-772-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2002

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาระบบเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน
A STUDY OF HELIUM-NEON LASER SYSTEM

ชื่อนักศึกษา นายสุรชาติ กมลดิถิก






รหัสประจำตัว 38064005

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.วราวุฒิ เถาถัดดา

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม รศ.ดร.พิเชษฐ ลิมสุวรรณ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.วิชาญ	เดชิตธีระ	
ผศ.ดร.วราวุฒิ	เถาถัดดา	
รศ.ดร.พิเชษฐ	ลิมสุวรรณ	
ผศ.ดร.ปรีชา	เทียนสมประสงค์	
ผศ.ดร.รัชภักย์	จิตต์อารี	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ 23 เมษายน 2545 เวลา 14.00 น. เป็นต้นไป
สถานที่สอบ ณ อาคารจุฬารามวลัยลักษณ์ 1 ชั้น 3 ห้อง 307


บัณฑิตวิทยาลัยใบรับรอง
(รศ.ดร.บุญวาทย์ อัครา)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ๑๑ เดือน พฤษภาคม พ.ศ. ๒๕๔๕

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาระบบเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน
นักศึกษา	นายสุรชาติ กมลคิลก
รหัสประจำตัว	38064005
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
พ.ศ.	2545
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.วราวุฒิ เถาถัดคา
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม	รศ.ดร.พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ

บทคัดย่อ

ระบบเลเซอร์ที่ทำการศึกษานี้ประกอบด้วยหลอดเลเซอร์ความยาว 30 เซนติเมตร สองหลอด หลอดแรกเป็นหลอดเลเซอร์ชนิดกระจกภายใน (Internal Mirror) ใช้ศึกษาเสถียรภาพและการแปรกำลังของเลเซอร์เมื่ออัตราส่วนและความดันรวมมีค่าต่างๆกัน จากการศึกษพบว่าเลเซอร์จะมีกำลังสูงสุด 1.28 มิลลิวัตต์ เมื่อใช้อัตราส่วนของก๊าซฮีเลียมต่อนีออนเป็น 12:1 ที่ความดันรวม 2.4 มิลลิบาร์และเลเซอร์จะมีเสถียรภาพมากที่สุดเมื่อใช้อัตราส่วนของก๊าซฮีเลียมต่อนีออนเป็น 7:1 ที่ความดันรวม 2.1 มิลลิบาร์ กำลังของเลเซอร์มีค่าเป็น 0.7 มิลลิวัตต์ หลอดที่สองเป็นหลอดเลเซอร์ชนิดกระจกภายนอก (External Mirror) ที่ปลายด้านหนึ่งของหลอดเอียงทำมุมบริวสเตอร์ส่วนอีกด้านปิดด้วยกระจกที่สะท้อนแสงได้ 100 เปอร์เซ็นต์ หลอดนี้ถูกใช้ศึกษาการแปรกำลังของเลเซอร์กับปริมาณการสะท้อนแสงของกระจก จากการศึกษพบว่าเลเซอร์มีกำลังสูงสุดเมื่อปริมาณการสะท้อนแสงเป็น 92.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าการสะท้อนแสงน้อยที่สุดที่ได้ศึกษา การปรับความเอียงของกระจกเลเซอร์สามารถทำให้เกิดโหมดตามขวางได้หลายโหมดเช่น TEM_{00} , TEM_{01} , TEM_{02} และ TEM_{11} การศึกษาโหมดตามขวางแบบนี้จะใช้ระบบ Laser Beam Profiler ที่พัฒนาขึ้นที่ห้องปฏิบัติการเลเซอร์ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สจล. และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากทางทฤษฎีพบว่าจะได้ลักษณะการกระจายของลำแสง (Beam Profile) สอดคล้องกัน นอกจากนี้ยังได้ศึกษาการลู่ออกของลำแสงเลเซอร์ในช่วง 10-200 เซนติเมตร ที่โหมด TEM_{00} และ Multimode ของเลเซอร์ที่สร้างขึ้น แล้วเปรียบเทียบการลู่ออกของลำแสงที่โหมด TEM_{00} ของเลเซอร์ที่สร้างขึ้นกับเลเซอร์ที่ผลิตจากต่างประเทศ พบว่าแสงลู่ออกด้วยมุมเท่ากันคือ 1.89 มิลลิเรเดียน(มุมเต็ม) ในขณะที่ Multimode ของเลเซอร์ที่สร้างขึ้นมีการลู่ออกมากกว่าคือ 3.29 มิลลิเรเดียน(มุมเต็ม)

Thesis Title	A Study of Helium-Neon Laser System
Student	Mr.Surachat Kamoldilok
Student ID.	38064005
Degree	Master of Science
Programmed	Applied Physics
Year	2002
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Warawoot Thowladda
Thesis Co-Advisor	Assoc. Prof. Dr. Pichet Limsuwan

ABSTRACT

Two types of He-Ne laser systems were studied. The lengths of the laser tube in both systems were equal to 30 cm. The first system, internal mirror laser tube, is studied for laser stability and the variation of laser power with used gas ratio and applied pressure in the tube. It was found that the laser power was maximum when the ratio of gases He to Ne was 12:1 at 2.4 mbar, the power was 1.28 mW and highest stability was found when the ratio of gases He to Ne was 7:1 at 2.1 mbar and the power was 0.7 mW. The second system, external mirror laser tube, is studied the variation of laser power with percentage of reflection of the mirror. The maximum laser power was found at the minimum reflectance of 92.5 %. The external mirror can be adjusted to provide many transverse modes such as TEM_{00} , TEM_{01} , TEM_{02} and TEM_{11} . Laser Beam Profiler developed by Laser and Surface Physics Lab department of Applied Physics faculty of Science KMITL was used to carry out the studied of these transverse modes. This program showed the beam profile of laser light in transverse modes, when it was compared with the theoretical result, they were in agreement. In addition, the external mirror laser was used to study the beam divergence of laser in the range of 10 - 200 cm. at TEM_{00} and multimode of studied laser. The beam divergence of TEM_{00} mode from the studied laser was compared with the commercial one. It was found that both have the same beam divergence equal to 1.89 mrad(full angle) and the studied laser in multimode has larger beam divergence equal to 3.29 mrad (full angle).

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความเมตตากรุณาอย่างยิ่งจาก ผศ.ดร.วรารุณี เถาถัดดา อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รศ.ดร.พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางในการดำเนินงานวิจัย ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของท่านและขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ คุณอศวิน เรณูสวัสดิ์ ที่ช่วยอนุเคราะห์อุปกรณ์ทางด้านแสง ที่ต้องใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณสถาพร จันทน์หอม ที่ช่วยจัดสร้างอุปกรณ์ต่างๆ ที่ต้องใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณศุภศิลป์ คาราสूरย์ ที่ช่วยจัดหาหลอดแก้วและช่วยสร้างหลอดเลเซอร์ให้

ขอขอบคุณ คุณวิยะพล พัฒนเศรษฐกุล ที่ช่วยอธิบายและจัดหาอุปกรณ์ของระบบสุญญากาศให้ในช่วงแรกที่ข้าพเจ้าเริ่มทำวิจัยในเรื่องนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้แก่ข้าพเจ้า บิดา มารดา ผู้ให้กำเนิด เพื่อนๆ รวมทั้งบุคคลที่มีความปรารถนาดีมอบให้แก่ข้าพเจ้าทุกท่านที่คอยให้กำลังใจและแนะนำแนวทางที่ดีในชีวิตให้แก่ข้าพเจ้าตลอดมา

สุรชาติ กมลติลล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ขั้นตอนการดำเนินการ.....	3
1.4.1 แผนการดำเนินการ.....	3
1.4.2 ระยะเวลาในการดำเนินการ.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 หลักการของเลเซอร์.....	5
2.1.1 การเปลี่ยนระดับพลังงานของอะตอม.....	6
2.1.2 การเกิดประชากรผกผัน.....	10
2.1.3 ตัวสั้นพ้องเชิงทัศน.....	12
2.2 หลักการของเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน.....	19
2.3 มุมบริวสเตอร์.....	21
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างระบบเลเซอร์.....	23
3.1 หลอดเลเซอร์.....	23
3.1.1 หลอดเลเซอร์ชนิดกระจกภายใน.....	23

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.2 หลอดชนิดกระจกติดตั้งภายนอก.....	24
3.2 การติดตั้งกระจกและการจัดแนวหลอดเลเซอร์.....	25
3.2.1 การติดตั้งกระจกเลเซอร์.....	25
3.2.2 การจัดแนวหลอดเลเซอร์.....	28
3.3 ระบบสุญญากาศ.....	29
3.3.1 ระบบปั๊มสุญญากาศ.....	29
3.3.2 การออกแบบและสร้างห้องผสมก๊าซ.....	30
3.4 การประกอบระบบเลเซอร์ฮีเลียมนีออน.....	32
3.5 การจัดระบบการวัดด้วยคอมพิวเตอร์.....	33
บทที่ 4 วิธีการทดลอง.....	35
4.1 การศึกษาการเกิดแสงเลเซอร์โดยใช้หลอดเลเซอร์ชนิดกระจกภายใน.....	35
4.1.1 การแปรกำลังของเลเซอร์ต่อความดันรวม.....	35
4.1.2 การศึกษาเสถียรภาพของเลเซอร์.....	49
4.2 การศึกษาการเกิดแสงเลเซอร์โดยใช้หลอดเลเซอร์ชนิดกระจกภายนอก.....	58
4.2.1 การแปรกำลังของเลเซอร์เมื่อเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสง ของกระจกเลเซอร์ต่างกัน.....	58
4.2.2 ศึกษาการลู่ออกของแสงเลเซอร์ที่โหมด TEM_{00} และ Multimode.....	64
4.2.3 การศึกษาการเกิดโหมดตามขวางของเลเซอร์.....	71
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	80
เอกสารอ้างอิง.....	84
ภาคผนวก.....	85
ประวัติผู้เขียน.....	87

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 กำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่ความดันรวมค่าต่างๆของอัตราส่วน 5:1.....	37
4.2 กำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่ความดันรวมค่าต่างๆของอัตราส่วน 6:1.....	38
4.3 กำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่ความดันรวมค่าต่างๆของอัตราส่วน 7:1.....	39
4.4 กำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่ความดันรวมค่าต่างๆของอัตราส่วน 8:1.....	40
4.5 กำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่ความดันรวมค่าต่างๆของอัตราส่วน 10:1.....	41
4.6 กำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่ความดันรวมค่าต่างๆของอัตราส่วน 12:1.....	42
4.7 กำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่ความดันรวมค่าต่างๆของอัตราส่วน 14:1.....	43
4.8 กำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่ความดันรวมค่าต่างๆของอัตราส่วน 16:1.....	44
4.9 กำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่ความดันรวมค่าต่างๆของอัตราส่วน 18:1.....	45
4.10 กำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่ความดันรวมค่าต่างๆของอัตราส่วน 20:1.....	46
4.11 กำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่อัตราส่วนต่างกัน.....	47
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของเลเซอร์และเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสง ของกระจก.....	62
4.13 ค่าเฉลี่ยขนาดของแสงเลเซอร์ที่ระยะห่างของฉากต่างกันที่ TEM ₀₀ ของ External Mirror.....	66
4.14 ค่าเฉลี่ยขนาดของแสงเลเซอร์ที่ระยะห่างของฉากต่างกันที่ Multimode ของ External Mirror.....	67
4.15 ค่าเฉลี่ยขนาดของแสงเลเซอร์ที่ระยะห่างของฉากต่างกันที่ TEM ₀₀ ของ หลอดต่างประเทศ.....	68

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบทั่วไปของเลเซอร์.....	5
2.2 การดูดกลืนแสง.....	6
2.3 การเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง.....	7
2.4 การเปล่งแสงโดยการกระตุ้น.....	7
2.5 การกระจายแบบโบลท์ซมานที่สภาวะสมดุล.....	10
2.6 การเกิดประชากรผกผัน.....	11
2.7 การจัดระบบเลเซอร์ที่ประกอบด้วยตัวกลางเลเซอร์และ ตัวสั้นพ้องเชิงทัศน.....	12
2.8 ก. ลักษณะของโหมคตามยาว.....	14
2.8 ข. การกระจายสเปกตรัมของเลเซอร์.....	14
2.8 ค. โหมคตามยาวของเลเซอร์ที่ออกมา.....	14
2.9 ตัวอย่างการสั้นที่ไม่อยู่ในแกนของแสงเลเซอร์.....	16
2.10 รูปแบบโหมคตามขวางของเลเซอร์.....	16
2.11 ก. การกระจายของสนามไฟฟ้า.....	18
2.11 ข. ความเข้มของแสงของ TEM_{00}	18
2.12 แผนภาพแสดงค่าของระดับพลังงานของฮีเลียมและ นีออนในการเกิดเลเซอร์.....	19
2.13 แผนภาพระบบฮีเลียมนีออนเลเซอร์.....	20
2.14 มุมบริวสเตอร์.....	21
3.1 หลอดเลเซอร์ชนิดกระจกภายใน.....	24
3.2 หลอดที่ติดตั้งกระจกภายนอก.....	24
3.3 ตัวสั้นพ้องเชิงทัศนที่ประกอบด้วยกระจกหน้าและหลัง.....	25
3.4 ขอบเขตของค่าจีพารามิเตอร์ที่มีเสถียรภาพและไม่มีเสถียรภาพ.....	27
3.5 การเลือกใช้กระจกที่มีรัศมีความโค้งต่างกันและมีเสถียรภาพ แตกต่างกันไป.....	27

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.6 การจัดแนวเลเซอร์ด้วยวิธี Autocollimator.....	29
3.7 ระบบสุญญากาศที่สร้างขึ้น.....	29
3.8 ภาพด้านข้างของห้องผสมก๊าซฮีเลียมและนีออน.....	30
3.9 ภาพด้านบนของห้องผสมก๊าซฮีเลียมและนีออน.....	31
3.10 ภาพถ่ายห้องผสมก๊าซฮีเลียมและก๊าซนีออน.....	31
3.11 แผนภาพระบบเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนที่สร้างขึ้น.....	32
3.12 ภาพถ่ายระบบเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนที่สร้างขึ้น.....	33
3.13 แผนภาพของระบบการวัด.....	34
3.14 ภาพถ่ายของระบบการวัด.....	34
4.1 กราฟแสดงกำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 5:1.....	37
4.2 กราฟแสดงกำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 6:1.....	38
4.3 กราฟแสดงกำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 7:1.....	39
4.4 กราฟแสดงกำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 8:1.....	40
4.5 กราฟแสดงกำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 10:1.....	41
4.6 กราฟแสดงกำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 12:1.....	42
4.7 กราฟแสดงกำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 14:1.....	43
4.8 กราฟแสดงกำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 16:1.....	44
4.9 กราฟแสดงกำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 18:1.....	45
4.10 กราฟแสดงกำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 20:1.....	46
4.11 กราฟแสดงกำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่อัตราส่วนต่างกัน.....	47
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและกำลังของเลเซอร์เมื่อไม่เปิดพัดลม.....	49
4.13 เสถียรภาพของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 5:1.....	50
4.14 เสถียรภาพของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 6:1.....	51
4.15 เสถียรภาพของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 7:1.....	51
4.16 เสถียรภาพของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 8:1.....	52
4.17 เสถียรภาพของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 10:1.....	52
4.18 เสถียรภาพของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 12:1.....	53

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.19 เกล็ดรูปของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 14:1.....	53
4.20 เกล็ดรูปของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 16:1.....	54
4.21 เกล็ดรูปของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 18:1.....	54
4.22 เกล็ดรูปของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 20:1.....	55
4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและกำลังของเลเซอร์.....	56
4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและกำลังของเลเซอร์เมื่อทำ การวัดจนกระทั่งเลเซอร์หยุดทำงาน.....	57
4.25 เเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจกหมายเลข 1.....	58
4.26 เเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจกหมายเลข 2.....	59
4.27 เเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจกหมายเลข 3.....	59
4.28 เเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจกหมายเลข 4.....	60
4.29 เเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจกหมายเลข 5.....	60
4.30 เเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจกหมายเลข 6.....	61
4.31 เเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจกหมายเลข 7.....	61
4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของแสงเลเซอร์ และเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจก.....	63
4.33 ภาพถ่ายแสดงขนาดของลำแสงที่ระยะทางต่างๆ.....	65
4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของลำแสงเลเซอร์และระยะห่างของฉาก เมื่อปรับกระจกเป็นโหมด TEM ₀₀ โดยใช้หลอดชนิดกระจกภายนอก.....	69
4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของลำแสงเลเซอร์และระยะห่างของฉาก เมื่อปรับกระจกเป็นโหมด Multimode โดยใช้หลอดชนิดกระจกภายนอก.....	69
4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของลำแสงเลเซอร์และระยะห่างของฉาก เมื่อปรับกระจกเป็นโหมด TEM ₀₀ ของหลอดเลเซอร์ที่ผลิตจากต่างประเทศ.....	70
4.37 ก. โหมด TEM ₀₀ ที่ปรากฏบนฉาก.....	72
4.37 ข. ลักษณะการกระจายความเข้มแสงของโหมด TEM ₀₀ โดยใช้ โปรแกรมระบบ Laser Beam Profiler ที่พัฒนาขึ้นเอง	72

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.38 ก. กราฟการกระจายของสนามไฟฟ้า.....	73
4.38 ข. กราฟความเข้มของแสงเลเซอร์ที่โหมด TEM ₀₀	73
4.39 ก. ลักษณะโหมด TEM ₀₁ เมื่อมองบนฉาก.....	74
4.39 ข. การกระจายความเข้มของแสงของโหมด TEM ₀₁	74
4.40 ก. การกระจายของสนามไฟฟ้าที่โหมด TEM ₀₁	75
4.40 ข. ความเข้มของแสงเลเซอร์ที่โหมด TEM ₀₁	75
4.41 ก. โหมด TEM ₀₂ เมื่อมองบนฉาก.....	76
4.41 ข. การกระจายความเข้มของแสงของโหมด TEM ₀₂	76
4.42 ก. การกระจายของสนามไฟฟ้าที่โหมด TEM ₀₂	77
4.42 ข. ความเข้มของแสงเลเซอร์ที่โหมด TEM ₀₂	77
4.43 ก. โหมด TEM ₁₁ เมื่อปรากฏบนฉาก.....	78
4.43 ข. การกระจายความเข้มของแสงเลเซอร์ของโหมด TEM ₁₁	78
4.44 ก. การกระจายของสนามไฟฟ้าที่โหมด TEM ₁₁	79
4.44 ข. ความเข้มของแสงเลเซอร์ที่โหมด TEM ₁₁	79

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย [1]

แสงเลเซอร์เป็นลำแสงที่ได้มาจากขบวนการทางฟิสิกส์ ที่มีชื่อว่า Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (LASER) ลำแสงเลเซอร์ได้ถูกผลิตออกมาเป็นครั้งแรกจากเลเซอร์ทับทิม (Ruby laser) โดย T. H. Maiman ในปี ค.ศ. 1960 ต่อมาได้มีการพัฒนาและค้นพบเลเซอร์แบบต่างๆ อีกมากมายประวัติความเป็นมาในการพัฒนาและก่อให้เกิดการค้นพบแสงเลเซอร์นับย้อนหลังไปประมาณ 85 ปี ในปี ค.ศ. 1917 ไอน์สไตน์ ได้ค้นพบทฤษฎีของการเปล่งแสงโดยการกระตุ้น (stimulated emission) ในอะตอม ทฤษฎีนี้ได้เป็นรากฐานสำคัญในการทำให้เกิดการเปล่งแสงโดยการกระตุ้นในตัวกลางของเลเซอร์และทำให้เกิดแสงเลเซอร์ขึ้น ในระยะระหว่างปี 1900-1940 ได้มีการค้นคว้าและวิจัยเกี่ยวกับฟิสิกส์ของอะตอมและโมเลกุลมากจนทำให้นักฟิสิกส์ทราบอย่างละเอียดเกี่ยวกับค่าระดับพลังงาน (energy level) ของอะตอมและโมเลกุลมากพอที่จะสามารถนำมาใช้ทำให้เกิดเลเซอร์ได้ในปี ค.ศ. 1954 ได้มีการค้นพบเมเซอร์ (MASER: Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation) โดย J.P. Gordon และเพื่อนร่วมงาน เมเซอร์ทำงานโดยหลักการเปล่งแสงโดยการกระตุ้นโดยผลิตรคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีช่วงความยาวคลื่นในระดับไมโครเวฟ ในปี ค.ศ. 1958 Townes และ Schalow ได้เสนอแนวความคิดว่าหลักการเมเซอร์นั้นสามารถดัดแปลงและทำให้เกิดความยาวคลื่นในระดับที่ตามองเห็นได้เรียกกระบวนการนี้ว่า optical maser โดยการนำความคิดของ Townes และ Schalow ในปี ค.ศ. 1960 T. Maiman ได้สามารถผลิตลำแสงจากเลเซอร์ทับทิม (Ruby Laser) ได้สำเร็จเป็นครั้งแรก เลเซอร์ทับทิมของ Maiman นั้นเป็นเลเซอร์ของแข็ง (Solid state laser) ได้ผลิตเลเซอร์สีชมพูที่มีความยาวคลื่น 694.30 นาโนเมตร (nm) และเลเซอร์ชนิดนี้ยังใช้งานตลอดจนถึงปัจจุบัน

ต่อมาในปี ค.ศ. 1967 เลเซอร์ก๊าซเครื่องแรกได้ถูกผลิตขึ้นโดยใช้ก๊าซฮีเลียมและก๊าซนีออน ใช้หลักการเปล่งแสงโดยการกระตุ้น เลเซอร์ฮีเลียม-นีออนนี้ผลิตเป็นครั้งแรกโดย A. Javan และเพื่อนร่วมงาน เลเซอร์ฮีเลียม-นีออนที่ผลิตขึ้นครั้งแรกนี้สามารถผลิตลำแสงที่มีช่วงคลื่น 1.15 ไมครอน (อินฟราเรด) ในปี ค.ศ. 1962 A.D. White และเพื่อนร่วมงานสามารถผลิตแสงเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนที่ช่วงคลื่น 632.80 นาโนเมตร ปี ค.ศ. 1963 A.L. Bloom และเพื่อนร่วมงานได้ผลิตเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนที่ช่วงยาวคลื่น 3.99 ไมครอนได้สำเร็จ แต่อย่างไรก็ตามในวงการวิจัยทางวิทยาศาสตร์การแพทย์และวงการอุตสาหกรรมนิยมใช้แสงเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนที่มีช่วงความยาวคลื่น 632.80 นาโนเมตร เนื่องจากเป็นลำแสงสีแดงสามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าจึงได้มีการนำเลเซอร์นี้ไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างกว้างขวางเช่นใช้ประยุกต์งานส่องนำและการจัดแนว (Alignment) ในด้านอุตสาหกรรม เลเซอร์ชนิดนี้ถูกนำไปใช้ในการวัดอัตราการไหลของของไหลในท่อที่โปร่งแสง ทั้งนี้เป็นการวัดที่ไม่มีการรบกวนการไหลในท่อแต่อย่างใด ซึ่งเป็นข้อดีในการที่จะทราบข้อมูลตามสภาพความเป็นจริง นอกจากนี้เลเซอร์ชนิดนี้ยังถูกนำไปใช้ในการศึกษาความเค้นและความเครียดในวัสดุต่างๆ ศึกษาการสั่นสะเทือนของระบบเครื่องยนต์ ใช้วัดความเร็วของผิวโลหะหรือวัสดุได้อย่างละเอียดแม่นยำ

นอกจากนี้แล้วเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน ยังเป็นแหล่งกำเนิดแสงบริสุทธิ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ในการเรียนการสอนในห้องปฏิบัติการทางแสงทั้งในระดับมัธยมศึกษาและระดับมหาวิทยาลัย จากเหตุผลที่กล่าวมานี้จึงสมควรที่จะต้องเรียนรู้และศึกษาระบบเลเซอร์ชนิดนี้เพื่อประโยชน์ในซ่อมบำรุงและสร้างเลเซอร์ชนิดนี้ขึ้นใช้เองในอนาคตต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 ศึกษาาระบบเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน
- 1.2.2 ศึกษาเทคนิคและการออกแบบระบบสุญญากาศ
- 1.2.3 ศึกษาเสถียรภาพของเลเซอร์ที่สร้างขึ้น
- 1.2.4 ศึกษาการแปรกำลังของแสงเลเซอร์ที่อัตราส่วนผสมของก๊าซต่างกัน
- 1.2.5 ศึกษาการแปรกำลังของแสงเลเซอร์ที่ความดันรวมภายในหลอดเลเซอร์ต่างกัน
- 1.2.6 ศึกษาการแปรกำลังของแสงเลเซอร์เมื่อใช้กระจกหน้าที่มีเปอร์เซ็นต์การสะท้อนต่างกัน
- 1.2.7 ศึกษาการเกิด โหมดตามขวางแบบต่างๆของแสงเลเซอร์
- 1.2.8 ศึกษาการลู่ออกของแสงเลเซอร์ที่สร้างขึ้นที่โหมด TEM_{00} และ Multimode

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ปัจจุบันได้มีการนำเอาเลเซอร์มาใช้งานเป็นจำนวนมาก ในการใช้งานจำเป็นจะต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศทำให้สูญเสียงบประมาณเป็นจำนวนมาก เพื่อลดการนำเข้าจากต่างประเทศจึงมีความคิดที่จะพัฒนาเทคโนโลยีและสร้างเลเซอร์ชนิดฮีเลียม-นีออนขึ้นมาใช้ภายในประเทศ เนื่องจากเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนเป็นเลเซอร์ที่ใช้กันแพร่หลายทั่วไปทั้งในโรงเรียน โรงงานอุตสาหกรรม ห้องปฏิบัติการทางด้านแสงต่างๆ

สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเกิดแสงเลเซอร์ของระบบเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน จะแบ่งการศึกษาออกเป็นสองส่วนโดยใช้หลอดเลเซอร์สองชนิด ได้แก่ หลอดเลเซอร์ชนิดกระจกภายในซึ่งมีกระจกเลเซอร์แบบติดถาวรและหลอดเลเซอร์ชนิดกระจกภายนอกซึ่งสามารถเปลี่ยนกระจกหน้าของหลอดเลเซอร์ได้ ในส่วนแรกจะใช้หลอดเลเซอร์ชนิดกระจกภายใน ในการศึกษาการแปรกำลังของเลเซอร์เมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างก๊าซฮีเลียมและก๊าซนีออนตั้งแต่ 5:1 จนถึง 20:1 จากนั้นทำการศึกษาการแปรกำลังของเลเซอร์เมื่อความดันรวมแตกต่างกันในแต่ละอัตราส่วน รวมถึงการศึกษาเสถียรภาพของเลเซอร์เมื่ออัตราส่วนของก๊าซแตกต่างกัน ส่วนที่สองจะใช้หลอดเลเซอร์ชนิดกระจกภายนอก ศึกษาการแปรกำลังของเลเซอร์เมื่อค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของกระจกเลเซอร์แตกต่างกัน สำหรับการศึกษาในเรื่องนี้จะใช้กระจก 7 บานที่มีเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงแตกต่างกัน ต่อจากนั้นทำการศึกษาโหมดตามขวางในแบบต่างๆ โดยใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นที่ห้องปฏิบัติการเลเซอร์ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สจล. สุดท้ายเป็นการวัดการลู่ออกของแสงเลเซอร์จากระยะ 10 ซม. ถึง 200 ซม. ที่โหมด TEM_{00} และ Multimode แล้วเปรียบเทียบการลู่ออกของลำแสงเลเซอร์ที่โหมด TEM_{00} ของแสงเลเซอร์จากหลอดที่ทำการศึกษากับเลเซอร์ฮีเลียมนีออนที่ผลิตจากต่างประเทศ

1.4 ขั้นตอนการดำเนินการทำวิทยานิพนธ์

1.4.1 แผนการดำเนินงานสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

- ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาข้อมูลต่างๆ ของเลเซอร์ เป็นการศึกษาถึงทฤษฎีพื้นฐานของการเกิดเลเซอร์และศึกษาหลักการทำงานของระบบสุญญากาศที่จะต้องใช้ในงานวิจัยนี้
- ขั้นตอนที่ 2 สร้างระบบเลเซอร์และออกแบบระบบสุญญากาศที่จะต้องใช้ในการทำวิจัย
- ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบคุณภาพและประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น
- ขั้นตอนที่ 4 ติดตั้งระบบและทดสอบการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 5 วัดกำลังและศึกษาเสถียรภาพของเลเซอร์ ปรับ โหมดของเลเซอร์เพื่อศึกษา
การเกิดโหมดตามขวางของเลเซอร์ที่สร้างขึ้น

ขั้นตอนที่ 6 ปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องที่พบ

ขั้นตอนที่ 7 สรุปการทำวิทยานิพนธ์และแนวทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคต

1.4.2 ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินการในแต่ละขั้นตอน

ลำดับ \ เดือน	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ขั้นตอนที่ 1	←→											
ขั้นตอนที่ 2		←→	←→	←→								
ขั้นตอนที่ 3					←→							
ขั้นตอนที่ 4						←→	←→					
ขั้นตอนที่ 5								←→	←→	←→		
ขั้นตอนที่ 6										←→	←→	
ขั้นตอนที่ 7											←→	←→

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการนี้

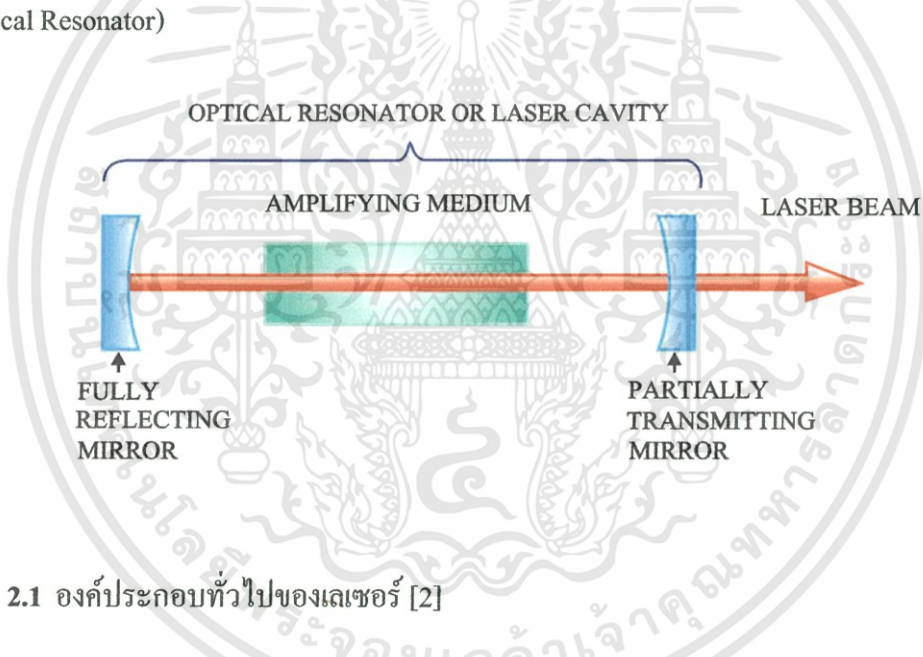
- 1.5.1 ได้ข้อมูลเกี่ยวกับอัตราส่วนและความดันรวมของก๊าซที่เหมาะสมสำหรับหลอดเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน
- 1.5.2 เพิ่มทักษะความรู้ในการออกแบบและใช้งานระบบสุญญากาศ
- 1.5.3 ได้เรียนรู้เทคนิคและทักษะในการจัดแนวหลอดเลเซอร์
- 1.5.4 เป็นการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านเลเซอร์และสามารถสร้างอุปกรณ์ส่วนใหญ่จากวัสดุที่หาได้ภายในประเทศ
- 1.5.5 เพื่อเป็นพื้นฐานของการศึกษาด้านเลเซอร์สำหรับผู้สนใจทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการของเลเซอร์

รูปแบบทั่วไปของส่วนประกอบของระบบเลเซอร์แสดงในรูปที่ 2.1 กล่าวคือจะประกอบไปด้วยสารเลเซอร์ (Laser Medium) แหล่งกำเนิดพลังงานภายนอกเพื่อกระตุ้นสารเลเซอร์ให้ปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสงเลเซอร์และกระจกเลเซอร์สำหรับสะท้อนแสงเลเซอร์ที่ได้ โดยที่กระจกหลังนั้นจะเคลือบสาร ไดอิเล็กทริกให้แสงสะท้อน 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกระจกหน้าจะเคลือบให้แสงเลเซอร์ออกมาบางส่วนและส่วนที่เหลือสะท้อนกลับเข้าไปในตัวสันพ้องเชิงทัศน (Optical Resonator)



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบทั่วไปของเลเซอร์ [2]

เลเซอร์(LASER)เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเกิดจากกระบวนการที่เรียกว่า Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation กระบวนการเกิดเลเซอร์นี้มีพื้นฐานมาจากการเปลี่ยนระดับพลังงานของอะตอม ไอออนหรือโมเลกุล เนื่องมาจากการดูดกลืนและการปลดปล่อยพลังงานของโฟตอนซึ่งเป็นไปตามกฎของบอร์ คือ

$$E_2 - E_1 = h\nu = \Delta E_{21} \quad (2.1)$$

เมื่อ E_1 และ E_2 คือ ระดับพลังงานที่สถานะพื้นและสถานะกระตุ้นตามลำดับ
 v คือ ความถี่ของโฟตอน และ h คือ ค่าคงที่ของพลังค์

ในกระบวนการเกิดเลเซอร์จำเป็นต้องมีพลังงานภายนอกมากระตุ้นให้อะตอม ไอออน หรือ โมเลกุลในสารเลเซอร์เปลี่ยนระดับพลังงานจากสถานะพื้นไปยังสถานะกระตุ้นและจะต้องมีกระบวนการที่สำคัญคือ

2.1.1 การเปลี่ยนระดับพลังงานของอะตอม

การเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอะตอมจะอธิบายได้จากปรากฏการณ์ทางแสง 3 ปรากฏการณ์ คือ

2.1.1.1 การดูดกลืนแสง (Absorption)



รูปที่ 2.2 การดูดกลืนแสง [3]

ในสภาวะปกติอะตอมจะอยู่ที่ระดับพลังงานที่ต่ำที่สุด (E_1) แต่ถ้ามีโฟตอนที่มีค่าความถี่เหมาะสมมากระตุ้น อะตอมจะดูดกลืนพลังงานของโฟตอนนั้นแล้วเปลี่ยนสถานะไปยังระดับพลังงานที่สูงกว่า (E_2) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 อาจเรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการดูดกลืนแสงแบบถูกกระตุ้น (Stimulated Absorption)

อัตราการเกิดการดูดกลืนแสงแบบถูกกระตุ้น (Stimulated Absorption Rate) จะแปรผันกับจำนวนอะตอมที่สถานะพื้นและความหนาแน่นของพลังงานของโฟตอนที่เข้ามากระตุ้น ซึ่งเป็นไปตามความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2.2)

$$\text{อัตราการดูดกลืนแสงแบบถูกกระตุ้น} = B_{12} N_1 \rho(v_{12}) \quad (2.2)$$

เมื่อ B_{12} คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (Stimulated Absorption Coefficient)
 N_1 คือ จำนวนอะตอมที่ระดับพลังงาน E_1

$\rho(v_{12})$ คือ ความหนาแน่นของพลังงานของโฟตอน (Photon Energy Density)

2.1.1.2 การเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง (Spontaneous emission)



รูปที่ 2.3 การเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง [3]

อะตอมซึ่งอยู่ในสถานะกระตุ้น(E_2)จะสามารถอยู่ในสถานะนี้ได้เพียงช่วงระยะเวลาหนึ่งซึ่งมีค่าเท่ากับค่าช่วงชีวิต (Life Time) เท่านั้น เมื่อหมดช่วงชีวิตแล้วก็จะตกลงมายังสถานะพื้น (E_1) เองโดยจะปลดปล่อยโฟตอนออกมาดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งอัตราการเกิดการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเองนี้จะมีสัดส่วนตามจำนวนอะตอมที่ชั้นพลังงาน E_2 คือ N_2 เท่านั้น ดังนั้น

$$\text{อัตราการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง} = A_{21}N_2 \tag{2.3}$$

เมื่อ A_{21} คือ สัมประสิทธิ์การเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง

(Spontaneous Emission Coefficient)

N_2 คือ จำนวนอะตอมที่ระดับพลังงาน E_2

2.1.1.3 การเปล่งแสงโดยการกระตุ้น (Stimulated emission)



รูปที่ 2.4 การเปล่งแสงโดยการกระตุ้น [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่อะตอมอยู่ในสถานะกระตุ้น (E_2) ยังไม่ถึงเวลาที่อะตอมจะตกลงสู่สถานะพื้น (E_1) แต่มีโฟตอนซึ่งมีค่าพลังงานเท่ากับผลต่างของระดับพลังงานในสถานะกระตุ้นและสถานะพื้นเข้ามา จะทำให้อะตอมที่สถานะกระตุ้นตกลงมายังสถานะพื้นและปลดปล่อยโฟตอนออกมาอย่างทันทีทันใด โดยโฟตอนที่ปลดปล่อยออกมานี้จะมีความถี่และเฟสที่เหมือนกับโฟตอนที่เข้ามากระตุ้นทุกประการ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 การเปล่งแสงแบบนี้จึงเรียกว่าการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น ถ้าโฟตอนที่ฉายเข้ามาในระบบมีความหนาแน่นของพลังงาน $\rho(\nu_{12})$ อัตราการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นจะแปรผันกับจำนวนอะตอมในชั้นพลังงาน (E_2) และความหนาแน่นของพลังงานที่มากระตุ้น ดังนั้นอัตราการเกิดการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นจะเป็นไปตามความสัมพันธ์ดังนี้ [4]

$$\text{อัตราการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น} = B_{21}N_2\rho(\nu_{12}) \quad (2.4)$$

เมื่อ B_{21} คือ สัมประสิทธิ์การเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น
(Stimulated Emission Coefficient)

การเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นนี้เองที่เป็นหลักการอย่างหนึ่งในการที่ทำให้แสงเลเซอร์มีเฟสเดียวกัน มีค่าความถี่เดียวและยังเป็นที่มาของคำว่า Light Amplification ด้วย เนื่องจากว่าโฟตอนที่เข้าไปกระตุ้น 1 ตัว จะทำให้ได้โฟตอนเพิ่มขึ้นมาอีก 1 ตัวเป็น 2 ตัวคือเกิดการขยายแสงนั่นเอง การเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นนี้จะเป็นพื้นฐานที่สำคัญประการหนึ่งในการเกิดแสงเลเซอร์เกือบทุกชนิด ในสภาวะสมดุลอัตราการดูดกลืนแสงและอัตราการเปล่งแสงจะสมดุลกัน ดังนั้น

อัตราการดูดกลืนแสง = อัตราการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง + อัตราการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น

จากสมการที่ (2.2), (2.3) และ (2.4) จะได้ว่า

$$B_{12}N_1\rho(\nu_{12}) = A_{21}N_2 + B_{21}N_2\rho(\nu_{12}) \quad (2.5)$$

ไอน์สไตน์ (Einstein) เป็นผู้อธิบายความสัมพันธ์ในสมการที่ (2.5) จึงเรียกค่าสัมประสิทธิ์ B_{12} , A_{21} และ B_{21} ว่า สัมประสิทธิ์ของไอน์สไตน์ (Einstein Coefficient)

จากสมการที่ (2.5) เขียนได้ใหม่คือ

$$\rho_v = \frac{A_{21}/B_{21}}{(B_{12}N_1/B_{21}N_2) - 1} \quad (2.6)$$

จากสถิติของโบลต์ซมันน์สามารถเขียนอัตราส่วนระหว่าง N_1/N_2 ได้ว่า

$$\frac{N_1}{N_2} = c^{(E_2 - E_1)/kT} \quad (2.7)$$

ดังนั้นถ้าแทนค่าสมการ (2.7) ลงในสมการ (2.6) จะได้

$$\rho_v = \frac{A_{21}/B_{21}}{(B_{12}/B_{21})c^{(h\nu/kT)} - 1} \quad (2.8)$$

เนื่องจากระบบอยู่ในสภาพสมดุล รังสีที่เปล่งออกมาจากอะตอมจะมีลักษณะเหมือนกับการแผ่รังสีของวัตถุดำ คือ

$$\rho_v = \frac{8\pi h\nu}{c^3} \left[\frac{1}{c^{(h\nu/kT)} - 1} \right] \quad (2.9)$$

เปรียบเทียบสมการ (2.8) และ (2.9) จะได้ว่า

$$\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \quad \text{และ} \quad B_{12} = B_{21} \quad (2.10)$$

เมื่อ c คือ ความเร็วแสงในสารเลเซอร์

สมการ (2.10) เรียกว่าความสัมพันธ์ของไอน์สไตน์ (Einstein relations)

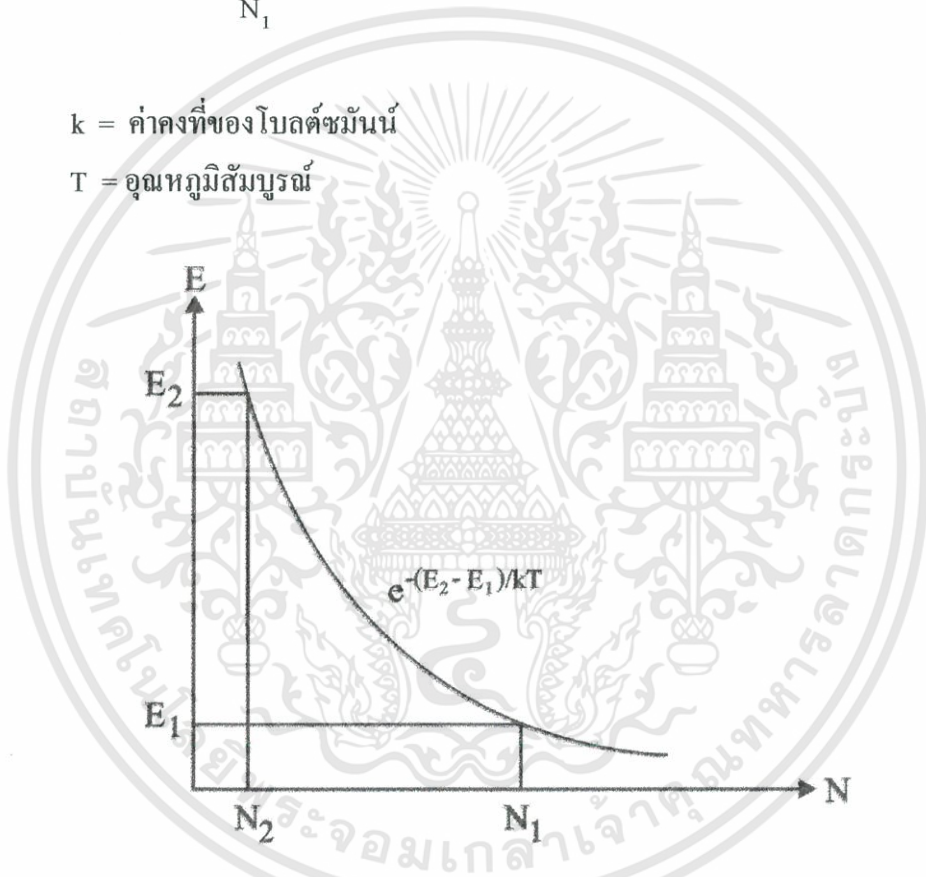
2.1.2 การเกิดประชากรผกผัน (Population Inversion) [1]

พิจารณาระบบที่มีระดับพลังงานเพียง 2 ระดับพลังงาน คือ E_1 และ E_2 (โดย $E_2 > E_1$) และแต่ละระดับพลังงานมีจำนวนอะตอมเป็น N_1 และ N_2 ตามลำดับ ที่สภาวะสมดุลเชิงความร้อน สัดส่วนของจำนวนอะตอมในแต่ละระดับพลังงานจะเป็นไปตามหลักการกระจายแบบโบลต์ซมันน์ (Boltzmann Distribution) ดังสมการ

$$\frac{N_2}{N_1} = e^{-(E_2 - E_1)/kT} \quad (2.11)$$

เมื่อ k = ค่าคงที่ของโบลต์ซมันน์

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์

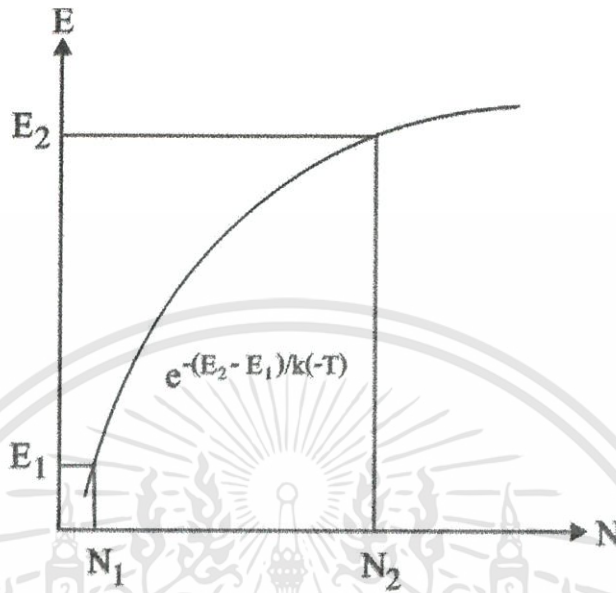


รูปที่ 2.5 การกระจายแบบโบลต์ซมันน์ของจำนวนอะตอมที่ระดับพลังงาน E_1 และ E_2 ที่สภาวะสมดุล

ความสัมพันธ์ในสมการที่ (2.11) เมื่อนำมาเขียนกราฟจะได้ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งจะเห็นได้ อย่างชัดเจนว่าในสภาวะสมดุล ที่ระดับพลังงานต่ำจะมีจำนวนอะตอมมากกว่าที่ระดับพลังงานสูง ($N_1 > N_2$) ดังนั้นถ้าฉายโฟตอนเข้าไปในระบบก็จะทำให้เกิดการดูดกลืนแสงมากกว่าที่จะเกิดการ เปลี่ยนแสง แต่ถ้าทำการรบกวนระบบจนทำให้เกิดเงื่อนไข $N_2 > N_1$ แล้วเมื่อทำการฉายโฟตอนเข้าไปในระบบก็จะทำให้เกิดการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นมากกว่าการดูดกลืนแสง จากสมการที่ (2.11)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าเกิดเงื่อนไขนี้ได้เมื่อ T มีค่าติดลบจึงอาจเรียกสภาวะของระบบเช่นนี้เป็น Negative Temperature และเรียกสภาวะที่เกิดเงื่อนไข $N_2 > N_1$ ว่าเกิดการผกผันของประชากรดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การเกิดประชากรผกผัน

พิจารณาสัดส่วนของอัตราการเกิดการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นต่ออัตราส่วนการดูดกลืนแสงแบบถูกกระตุ้น (สมการที่ 2.10 และ 2.11 ตามลำดับ) จะได้ว่า

$$\frac{\text{อัตราการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น}}{\text{อัตราการดูดกลืนแสงแบบถูกกระตุ้น}} = \frac{B_{21}N_2\rho(\nu_{12})}{B_{12}N_1\rho(\nu_{12})}$$

เมื่อ $B_{21} = B_{12}$ จะได้

$$\frac{\text{อัตราการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้น}}{\text{อัตราการดูดกลืนแสงแบบถูกกระตุ้น}} = \frac{N_2}{N_1} \quad (2.12)$$

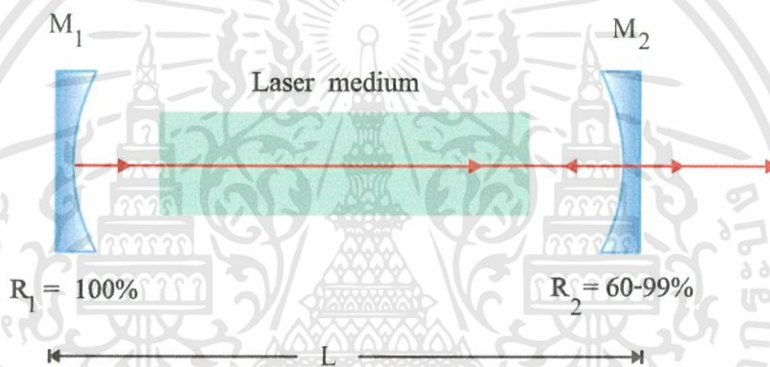
จากสมการที่ (2.12) แสดงให้เห็นว่า ถ้า $N_2 > N_1$ แล้ว จะทำให้ระบบเกิดการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นในอัตราที่มากกว่าการเกิดการดูดกลืนแสงแบบถูกกระตุ้น ซึ่งปรากฏการณ์ที่ $N_2 > N_1$ นี้เรียกว่าการเกิดประชากรผกผัน การทำให้เกิดประชากรผกผันมีหลักการที่สำคัญคือต้องเพิ่มพลังงานให้แก่อะตอมหรือโมเลกุลของตัวกลางเลเซอร์ ในทางปฏิบัติได้แก่การใช้แสงที่มีความหนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แน่นสูงเป็นตัวเพิ่มพลังงาน (Optical Pumping) การทำแก๊สคิซซาร์จ การกระตุ้นโดยใช้แสงเลเซอร์ ชนิดอื่นเป็นแหล่งพลังงานเป็นต้น จะเรียกการเพิ่มพลังงานให้กับระบบด้วยวิธีการต่างๆนี้ว่า Energy Pumping

2.1.3 ตัวสั้นพ้องเชิงทัศน (optical resonator) [4]

การที่จะทำให้เกิดมีการขยายพลังงานของลำแสงเลเซอร์ที่ออกมาให้มากขึ้นจำเป็นจะต้องมีตัวสั้นพ้องเชิงทัศน ในกรณีของเลเซอร์นั้นตัวสั้นพ้องเชิงทัศนเป็นกระจกที่ฉาบผิวด้วยสารไดอิเล็กตริก ซึ่งจะยอมให้แสงที่มีช่วงความยาวคลื่นของเลเซอร์ที่ต้องการเท่านั้นที่สะท้อนกลับไปที่นี้เพื่อที่จะป้องกันมิให้แสงที่มีช่วงความยาวคลื่นอื่นๆมารบกวน โดยทั่วไปตัวสั้นพ้องเชิงทัศนประกอบด้วยกระจก 2 ขานคือ M_1 และ M_2 ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การจัดระบบเลเซอร์ที่ประกอบด้วยตัวกลางเลเซอร์และตัวสั้นพ้องเชิงทัศน

M_1 และ M_2 มีค่าสะท้อนกลับ (Reflectivity) 100 เปอร์เซ็นต์ และ 60-99 เปอร์เซ็นต์ ที่ช่วงความยาวคลื่นของเลเซอร์ตามลำดับ โฟตอนจะวิ่งสะท้อนกลับไปกลับมาระหว่างกระจก M_1 และ M_2 และถูกเพิ่มขยายความเข้มแสงเมื่อวิ่งผ่านตัวกลางเลเซอร์ จนกระทั่งถึงจุดที่เกิดเลเซอร์ออสซิลเลชัน (Laser Oscillation) ลำแสงเลเซอร์จะวิ่งผ่านออกทางกระจก M_2 การเกิดเลเซอร์ออสซิลเลชันในตัวกลางเลเซอร์นั้นมีเงื่อนไขว่าอัตราการขยาย (Gain) ของเลเซอร์ออสซิลเลชันมีค่าเท่ากับการสูญเสีย (Loss) ของตัวสั้นพ้องเชิงทัศน เรียกว่า อัตราการขยายขีดเริ่ม (Threshold Gain) k_{th}

ถ้าให้ M_1 และ M_2 มีค่าสะท้อนกลับเป็น R_1 และ R_2 ตามลำดับ α_c เป็นการสูญเสีย และ L เป็นระยะทางระหว่าง M_1 และ M_2 จะได้ว่า

$$I = I_0 e^{(k - \alpha_c)L} \quad (2.13)$$

เมื่อ I คือ ความเข้มแสง
 I_0 คือ ความเข้มแสงเริ่มต้น
 k คือ small signal gain coefficient

หลังจากนั้นแสงสะท้อนกลับจากกระจก M_2 พบว่าความเข้มของแสงจะกลายเป็น $R_2 I_0 e^{(k - \alpha_c)L}$ และเมื่อสะท้อนกลับที่ M_1 (ครบ 1 รอบพอดี) ความเข้มของแสงจะเพิ่มขึ้น

$$G = R_1 R_2 e^{2(k - \alpha_c)L} \quad (2.14)$$

ค่า G เรียกว่า Round Trip Gain และที่เงื่อนไขขีดเริ่ม (Threshold Condition) สำหรับการเกิดเลเซอร์จะได้

$$G = R_1 R_2 e^{2(k_{th} - \alpha_c)L} = 1 \quad (2.15)$$

ดังนั้นจากสมการ (2.15) จะได้

$$k_{th} = \alpha_c + \frac{1}{2L} \ln \left(\frac{1}{R_1 R_2} \right) = \alpha_c + \alpha_o \quad (2.16)$$

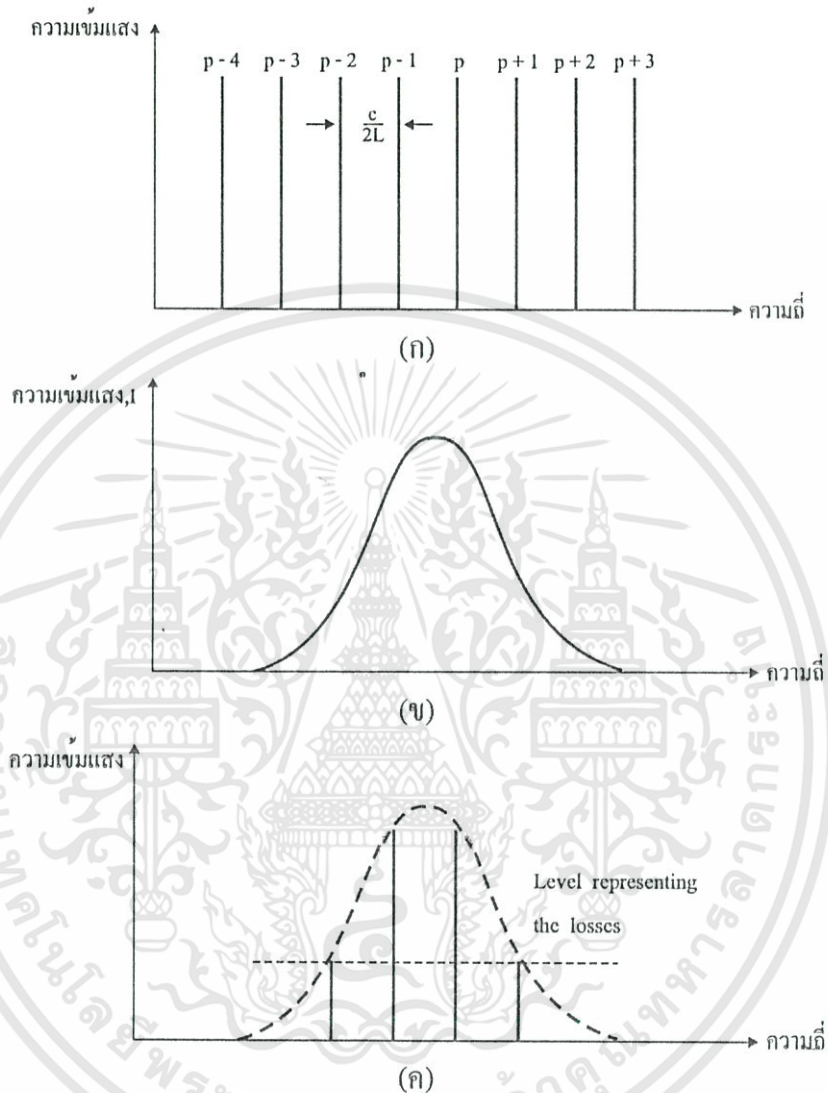
α_c คือ การสูญเสียพลังงานของลำแสงในการถูกดูดกลืนและกระเจิงภายในตัวกลางเลเซอร์

α_o คือ การสูญเสียพลังงานในส่วนที่กลายเป็นแสงเลเซอร์ทะลุผ่านกระจก M_2

ดังนั้นจากสมการ (2.16) สรุปได้ว่าในกรณีของการเกิดเลเซอร์นั้น การขยายจะต้องมีค่าเท่ากับผลรวมของการสูญเสียในเลเซอร์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ชนิดของกระจกและการจัดกระจก M_1 และ M_2 ให้พอเหมาะเพื่อที่จะทำให้เกิดเสถียรภาพในการสะท้อนกลับไปมาของแสงระหว่างกระจก M_1 และ M_2 ทั้งนี้ให้มีการสูญเสียพลังงานให้น้อยที่สุดเพื่อให้เกิดเลเซอร์ได้ง่าย โฟตอนที่เคลื่อนที่ภายในตัวสันพ้องเชิงทัศนนี้จะมีรูปแบบของโหมด(mode)ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นอยู่ 2 ลักษณะ คือ โหมดตามยาวและโหมดตามขวาง นั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.1 โหมดตามยาว (Longitudinal Mode) [4]



รูปที่ 2.8 (ก) ลักษณะของโหมดตามยาว (ข) การกระจายสเปกตรัมของเลเซอร์ (ค) โหมดตามยาวของเลเซอร์ที่ออกมา [4]

กรณีการสั่นของเลเซอร์ทำให้เกิดคลื่นในตัวส่งพ้องเชิงทัศนจะต้องเกิดซ้ำอีกหลังจากการสะท้อน 2 ครั้ง ทำให้สนามไฟฟ้ามีเฟสตรงกันหรือกล่าวในอีกนัยหนึ่งได้ว่า กระจกทั้งสองจะทำหน้าที่เป็นตัวส่งพ้องเชิงทัศนและเกิดคลื่นนิ่งระหว่างกระจกคล้ายๆกับกรณีการเกิดคลื่นนิ่งในเส้นเชือกหรือในท่อออร์แกน ถ้าไม่พิจารณาการเปลี่ยนเฟสที่อาจจะเกิดขึ้นเมื่อมีการสะท้อนจากกระจก ค่าการเปลี่ยนเฟสตลอดการเคลื่อนที่ 1 รอบหาได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$d\phi = \frac{2\pi}{\lambda} (2L) \quad (2.17)$$

เมื่อ L คือ ระยะห่างระหว่างกระจก (ในที่นี้ถือว่าคัมภ์หักเหของตัวกลางมีค่าเป็น 1) ดังนั้นถ้าจะให้มีการสั้นของเลเซอร์จะต้องให้

$$\frac{2\pi}{\lambda} (2L) = 2p\pi \quad (2.18)$$

$$L = p\lambda/2 \quad (2.19)$$

เมื่อ p คือเลขจำนวนเต็ม ค่า p แต่ละค่าจะสอดคล้องกับสมการ (2.19) จะตรงกับโหมดตามยาวของตัวสั้นพ้องเชิงทัศนศาสตร์ เนื่องจาก $v = c/\lambda$ จึงสามารถเขียนสมการ (2.19) ได้ว่า

$$v = \frac{pc}{2L} \quad (2.20)$$

ดังนั้นความแตกต่างความถี่ Δv ระหว่างโหมดที่ติดกัน ($\Delta p = 1$) จะหา Δv ได้จาก

$$\Delta v = c/2L \quad (2.21)$$

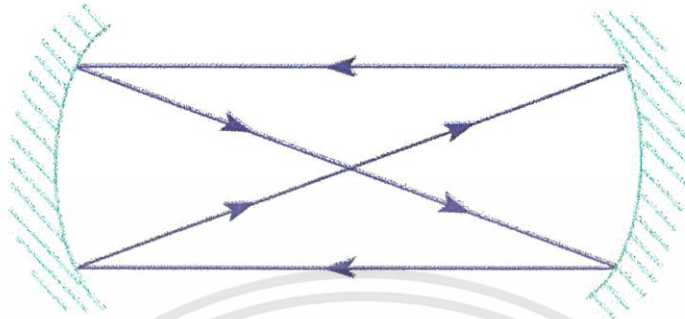
โหมดตามยาวของเลเซอร์จะประกอบด้วยสเปกตรัมหลายๆความถี่ ที่หาได้จากสมการ (2.20) และความแตกต่างความถี่ที่หาได้จากสมการ (2.21) ดังแสดงในรูปที่ (2.8ก.) แต่ละโหมดจะสั้นได้ถ้าค่าเกณฑ์ความถี่นั้นมีค่าสูงหรือกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่าเลเซอร์โหมดจะอยู่ในพิสัยความถี่ของสเปกตรัมของเลเซอร์และมีค่าเกณฑ์มากกว่าค่าการสูญเสียดังรูปที่ 2.8ข. และ ค.

ตัวอย่างเช่น ความกว้างสเปกตรัมของเลเซอร์ฮีเลียมนีออนที่มีความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร มีค่าประมาณ 1.5 จิกะเฮิร์ตซ์(GHz) ดังนั้นถ้าตัวสั้นพ้องเชิงทัศนศาสตร์ยาว 0.5 เมตร จะพบว่าโหมดตามยาวเป็น $(1.5 \times 10^9) / (3 \times 10^8 / (2 \times 0.5)) = 5$ โหมด

2.1.3.2 โหมดตามขวาง (Transverse mode)[4]

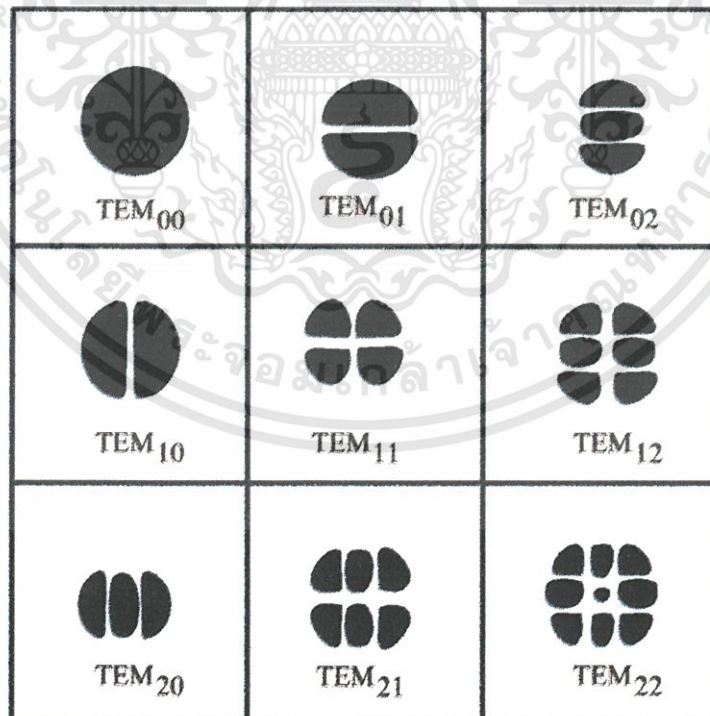
โหมดตามยาวจะให้ลำแสงเป็นจุดเดียวในขณะที่โหมดตามขวางจะมีหลายจุด กรณีของโหมดตามขวางจะเป็นคลื่นระนาบเคลื่อนที่ในแนวแกนของแสงเลเซอร์ที่เชื่อมต่อระหว่างกระจก ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เชิงพาณิชย์ การทำไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีทั่วไปแล้วจะมีคลื่นแบบอื่นๆที่ไม่ได้เคลื่อนที่ในแนวของแกนของแสงเลเซอร์แต่ยังปรากฏเป็นแสงเลเซอร์ได้ เส้นทางการเคลื่อนที่จะซับซ้อนดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างการสั่นที่ไม่อยู่ในแกนของแสงเลเซอร์ทำให้เกิดโหมดตามขวาง

โหมดดังกล่าวนี้มีชื่อเรียกว่า Transverse Electromagnetic Mode (TEM) หรือเขียนได้เป็น TEM_{mn} ซึ่งจำแนกได้เป็นเลขจำนวนเต็ม 2 ตัว คือ m และ n ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 รูปแบบโหมดตามขวางของเลเซอร์ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า m เป็นตัวเลขแทนโหมดตามขวางในแนวแกน x และ n เป็นตัวเลขแทนโหมดตามขวางในแนวแกน y พิจารณาโหมดศูนย์ศูนย์หรือ TEM_{00} มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Uniphase ซึ่งแต่ละส่วนของการเคลื่อนที่จะมีเฟสตรงกัน ดังนั้นโหมดนี้จะมีอาพันธ์ (Coherent) สูง ในการวิจัยหรือการทดลองต่างๆจะใช้โหมดนี้เป็นหลัก วิธีวิเคราะห์โหมดตามขวางจะพิจารณาดังนี้[5][6]

$$E_{mn}(x,y) = E_0 H_m \left(\frac{\sqrt{2}x}{w} \right) H_n \left(\frac{\sqrt{2}y}{w} \right) e^{-(x^2+y^2)/w^2} \quad (2.22)$$

เมื่อ E_{mn} คือ สนามไฟฟ้าในโหมดตามขวางของเลเซอร์

E_0 คือ แอมพลิจูดของสนามไฟฟ้า

w คือ ขนาดของจุดแสงบนกระจก

H_m คือ พหุนามเฮอร์ไมต์ในแนวแกน x

H_n คือ พหุนามเฮอร์ไมต์ในแนวแกน y

สมการ (2.22) เป็นผลคูณของพหุนามเฮอร์ไมต์ (Hermite Polynomial) และฟังก์ชันการกระจายของเกาส์เซียน(Gaussian Distribution) พหุนามเฮอร์ไมต์มีค่าตั้งแต่ 0, 1, 2, ... ในทุกๆ เซตของ m และ n จะแทนโหมดตามขวางเฉพาะตัวของแต่ละโหมด เช่น $m=0$ และ $n=0$ จะแทน TEM_{00} เป็นต้น ส่วนค่า w คือ ขนาดของจุดแสงที่ปรากฏบนกระจก มีค่าเท่ากับ $\sqrt{\frac{\lambda d}{\pi}}$ เมื่อ d คือ ระยะห่างระหว่างกระจก สำหรับพหุนามเฮอร์ไมต์จะแทนด้วย

$$H_m(u) = (-1)^m e^{u^2} \frac{d^m}{du^m} (e^{-u^2})$$

หรือ
$$H_n(u) = (-1)^n e^{u^2} \frac{d^n}{du^n} (e^{-u^2}) \quad (2.23)$$

ตัวอย่างพหุนามเฮอร์ไมต์แทนค่า m หรือ n ด้วย 0, 1 และ 2

$$H_0(u) = 1 \quad H_1(u) = 2u$$

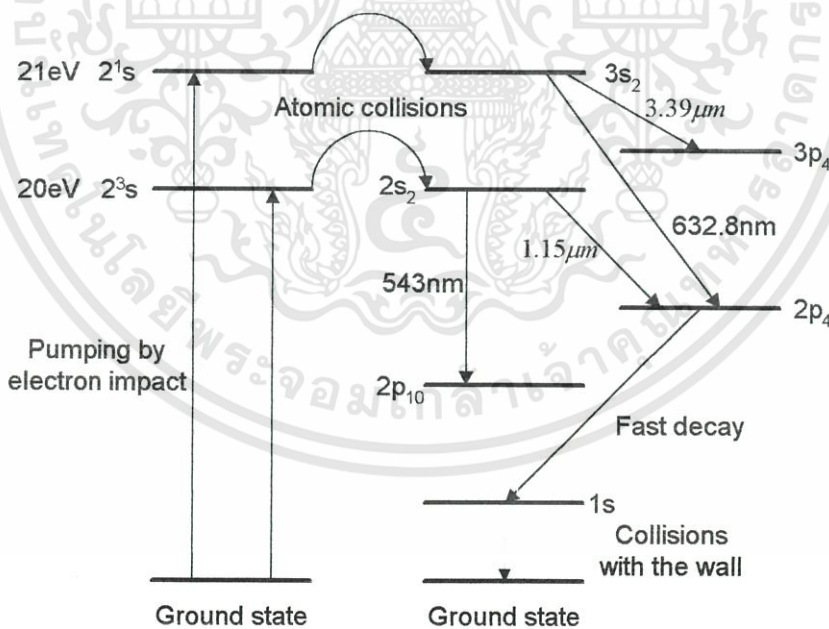
$$H_2(u) = 2(2u^2 - 1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือที่ $m = n = 0$ จะได้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับโหมดตามขวางอื่นๆ สามารถหาได้โดยแทนค่า m และ n และ หาค่าของพหุนามเฮร์ไมต์ เหมือนกับ TEM_{00} โหมดตามขวางที่มีรูปแบบต่างๆนั้นสามารถดูได้จากการนำฉากไปรับ(ในกรณีทีเลเซอร์มีความยาวคลื่นที่อยู่ในช่วงที่ตามองเห็นได้)แต่ถ้าเป็นกรณีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงอัลตราไวโอเล็ต(UV)หรืออินฟราเรด(IR)จะต้องนำฉากที่ตอบสนองต่อความยาวคลื่นช่วงนั้นไปรับแสง

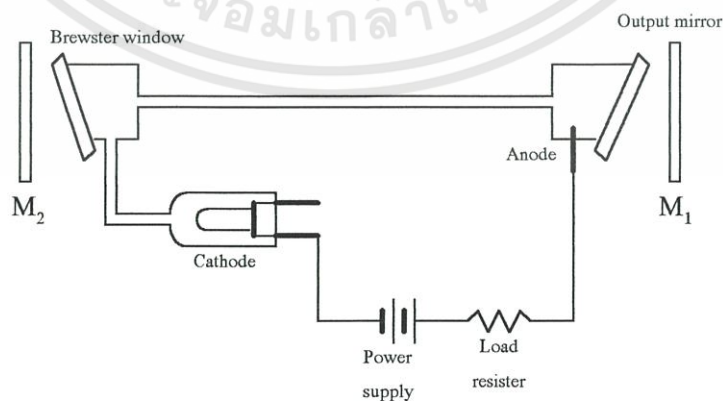
2.2 หลักการของเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน

เลเซอร์ฮีเลียม-นีออนเป็นระบบเลเซอร์ที่อาศัยอะตอมของนีออนเป็นแหล่งผลิตแสงเลเซอร์ เลเซอร์แบบนี้อาจเรียกอีกชื่อหนึ่งได้ว่าเป็นอะตอมมิกเลเซอร์ (Atomic Laser) ก๊าซผสมระหว่างฮีเลียมและนีออนจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางที่ทำให้เกิดเลเซอร์(Laser medium) และโดยอาศัยหลักการให้พลังงานโดยใช้การดีซาร์จแบบกระแสไฟตรงที่ความต่างศักย์ประมาณ 1,500-2000 โวลต์ จะทำให้ก๊าซผสมนี้เกิดการเปลี่ยนแปลงในค่าระดับพลังงานของก๊าซฮีเลียมและก๊าซนีออนทำให้เกิดสภาพประชากรผกผัน ($N_2 > N_1$) ซึ่งจะก่อให้เกิดกระบวนการเปล่งแสงแบบถูกกระตุ้นและเป็นแสงเลเซอร์ในเวลาต่อมา



รูปที่ 2.12 ระดับพลังงานของฮีเลียมและนีออนในการเกิดเลเซอร์

จากรูป 2.12 เมื่อเกิดการดิซซาร์จอิเล็กตรอนจะวิ่งชนอะตอมของฮีเลียมและเพิ่มค่าระดับพลังงานให้อะตอมของฮีเลียมอยู่ที่ระดับพลังงาน 2^3s และ 2^1s ตามลำดับ ซึ่งค่าระดับพลังงานนี้ จะมีค่าตรงกับระดับพลังงาน $2s$ และ $3s$ ของนีออน อะตอมของฮีเลียมที่ค่าระดับพลังงาน 2^1s และ 2^3s จะชนอะตอมของนีออน (ที่สถานะพื้น) ทำให้อะตอมของนีออนมีค่าพลังงานสูงอยู่ในระดับค่าพลังงาน $3s$ และ $2s$ ตามลำดับ ตามหลักกลศาสตร์ควอนตัมจะไม่มี การเปลี่ยนระดับพลังงานจาก $3s \rightarrow 2s$ ในอะตอมนีออน แต่จะมีการเปลี่ยนค่าระดับพลังงานจาก $3s$ และจาก $2s$ ไปยังระดับ $3p$ และ $2p$ ในอะตอมนีออน ทำให้มีการปล่อยโฟตอนออกมาในช่วงคลื่นขนาด 3.39 ไมครอน (μm) 1.15 ไมครอน (μm) 632.8 นาโนเมตร (nm) และ 543.5 นาโนเมตร (nm) ออกมาตามลำดับ เนื่องจากระยะเวลาของการอยู่ในระดับ $3p$ และ $2p$ ของอะตอมนีออน มีค่าสั้นกว่าระยะเวลาที่อยู่ในระดับ $3s$ และ $2s$ ดังนั้นอะตอมของก๊าซนีออนจะลดค่าระดับพลังงานจาก $3p$ และ $2p$ ไปสู่ $1s$ อย่างเร็วและเป็นแบบไม่มีการแผ่รังสี (Nonradiative Transition) ดังนั้นจึงเกิดมีประชากรผกผันขึ้นระหว่างระดับ $3s$ กับ $3p_4$, $3s$ กับ $2p_4$, $2s$ กับ $2p_4$ และ $2s$ กับ $2p_{10}$ ค่าประชากรผกผันดังกล่าวจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนระดับค่าพลังงานอย่างรวดเร็วของอะตอมนีออนจากระดับ $1s \rightarrow$ สถานะพื้น โดยขบวนการชนกระทบหนึ่งของหลอดเลเซอร์ ดังนั้นจะเห็นว่าการสร้างหลอดเลเซอร์นั้น จะต้องพยายามใช้หลอดแก้วที่มีรูแคบ (capillary tube) และถ้าหลอดมีความยาวเพิ่มขึ้นจะทำให้ผลิตค่ากำลังของเลเซอร์ให้สูงขึ้นด้วย เนื่องจากการเกิดเลเซอร์ที่ช่วงคลื่น 3.39 ไมครอน 1.15 ไมครอน 632.8 นาโนเมตร และ 543.5 นาโนเมตร ดังนั้นเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ที่ช่วงคลื่นใดช่วงคลื่นหนึ่งนั้น จะใช้กระจกที่เคลือบด้วยสารไดอิเล็กทริกที่ช่วงคลื่นนั้นใส่ภายในตัวสันห้องเชิงทศน์ช่วงคลื่นอื่นๆจะถูกกำจัดไปโดยวิธีการนี้ ตัวสันห้องเชิงทศน์นั้นประกอบไปด้วยกระจก M_1 และ M_2 อยู่ที่ด้านปลายทั้งสองด้านของตัวสันห้องเชิงทศน์โดยที่กระจก M_1 และ M_2 จะมีสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ 1.00 และ 0.99 ตามลำดับ ดังรูปที่ 2.13



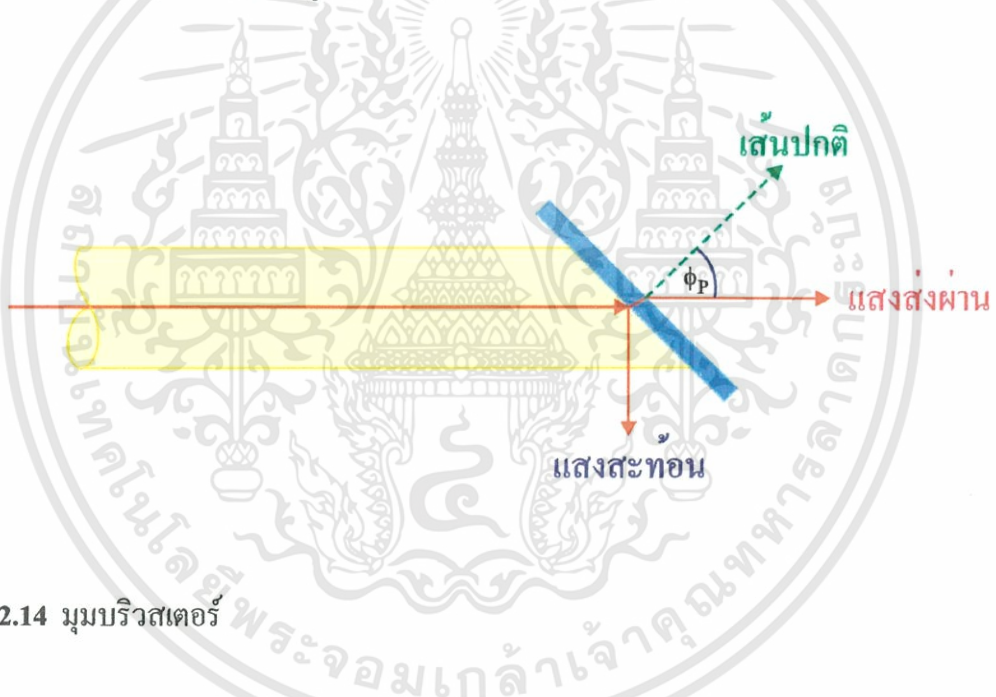
รูปที่ 2.13 ระบบฮีเลียมนีออนเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลเซอร์ฮีเลียม-นีออนที่ให้ช่วงคลื่น $\lambda = 632.8$ นาโนเมตร(สีแดง) เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย แต่เนื่องจากระบบนี้มีค่าการขยายต่ำ จึงจำเป็นต้องให้ระบบมีการสูญเสียพลังงานน้อยที่สุด ดังนั้นกระจก M_2 จึงมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนสูงคือ 0.99 ซึ่งจะให้เลเซอร์ออกมาเพียง 1% และปลายหลอดทั้งสองข้างต้องเอียงทำมุมบรีวสเตอร์ (Brewster's Angle) กับแนวแกนของทิศทางที่เลเซอร์ออกมาเพื่อลดการสูญเสียที่ปลายหลอด

2.3 มุมบรีวสเตอร์ (Brewster's Angle)[4]

มุมบรีวสเตอร์หรือมุมโพลาไรซ์เป็นมุมตกกระทบ ϕ_p ที่ทำให้เกิดรังสีสะท้อน(จากผิวตกกระทบ)ออกมาแล้วไม่มีค่าสนามไฟฟ้า (ของรังสีสะท้อน) ในแนวที่ขนานกับระนาบของการตกกระทบ (Plane of Incidence) ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 มุมบรีวสเตอร์

จากรูปที่ 2.14 พบว่าเมื่อรังสีตกกระทบทำมุมตกกระทบมีค่าเท่ากับมุมบรีวสเตอร์ ϕ_p รังสีสะท้อนจะมีสนามไฟฟ้าแนวตั้งฉากกับระนาบของการตกกระทบเท่านั้นและรังสีที่ผ่านทะลุจะมีสนามไฟฟ้าในแนวที่ขนานกับระนาบของการตกกระทบ มุม ϕ_p หาได้จากสมการ

$$\phi_p = \tan^{-1} \frac{n_2}{n_1} \quad (2.25)$$

เมื่อ n_2 คือดัชนีหักเหของแก้ว

n_1 คือดัชนีหักเหของอากาศ

เนื่องจากระบบเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนเป็นระบบที่มีความละเอียดอ่อนมากและมีการขยายต่ำ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องขจัดการสูญเสียของพลังงานในตัวส่งพ้องเชิงทัศนียภาพให้มากที่สุด เพราะมิฉะนั้นจะไม่เกิดการขยายขึ้นในสารเลเซอร์และส่งผลให้ไม่เกิดแสงเลเซอร์ขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นที่สุดที่ต้องใช้บริวสเตอร์วินโดว์ติดที่ปลายของหลอดเลเซอร์เพื่อให้เกิดการสะท้อนกลับของกระจกเลเซอร์ M_1 และ M_2 เข้าไปในหลอดเลเซอร์ให้มากที่สุดกล่าวคือทำให้มีการสะท้อนออกที่ปลายของหลอดเลเซอร์ให้น้อยที่สุดเพราะถ้าใช้กระจกธรรมดาปิดปลายหลอดเลเซอร์โดยที่ปิดตั้งฉากกับแสงที่สะท้อนกลับจากกระจก M_1 และ M_2 แล้วพบว่าจะมีการสูญเสียพลังงาน ณ ที่นั้นประมาณ 4% หรือเกิดค่าการสะท้อน 0.04 ทุกครั้งที่มีการสะท้อนแต่ถ้าตัดปลายทั้งสองทำมุมบริวสเตอร์แล้วจะทำให้เกิดมีการสะท้อนกลับของแสงระหว่างกระจก M_1 และ M_2 โดยไม่มีการสูญเสียที่ปลายหลอดเลเซอร์ ซึ่งจะส่งผลให้มีการขยายได้ง่ายและเกิดเลเซอร์ได้ง่ายขึ้นด้วย



บทที่ 3

การออกแบบสร้างระบบเลเซอร์และอุปกรณ์

ระบบเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยหลอดเลเซอร์สองหลอดเป็นหลอดชนิดกระจกภายใน (Internal Mirror) และหลอดชนิดกระจกภายนอก (External Mirror) ที่ปลายด้านหน้าของหลอดตัดทำมุมปริสทอร์ ส่วนประกอบของระบบเลเซอร์ได้แก่ หลอดเลเซอร์ ระบบสุญญากาศและห้องผสมก๊าซฮีเลียมและก๊าซนีออน งานหลักในการสร้างระบบเลเซอร์ที่ใช้ในการศึกษาพอสรูปได้ดังนี้

3.1 หลอดเลเซอร์

หลอดเลเซอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีทั้งหลอดเลเซอร์ชนิดกระจกภายในและชนิดกระจกภายนอกที่หมดอายุการใช้งานแล้ว (ไม่สามารถเกิดแสงเลเซอร์ได้) โดยนำหลอดทั้งสองชนิดมาตัดต่อท่อผสมก๊าซเพื่อให้สามารถบรรจุก๊าซในอัตราส่วนและความดันที่ต้องการได้ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.1.1 หลอดเลเซอร์ชนิดกระจกภายใน (Internal Mirror)

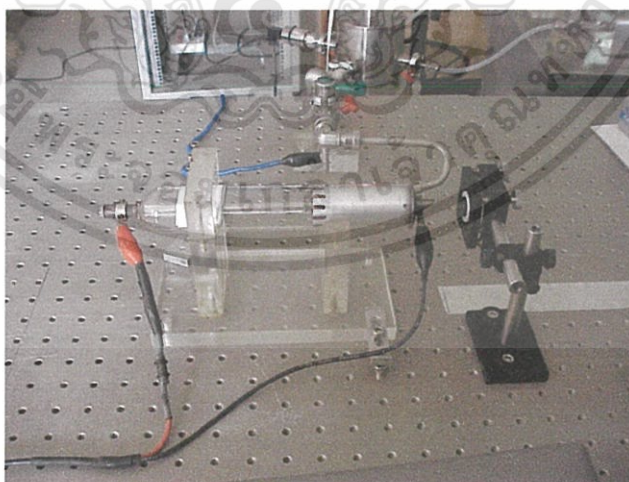
หลอดชนิดกระจกภายในนี้สร้างขึ้นเพื่อใช้ศึกษาอัตราส่วนผสมของก๊าซฮีเลียมและก๊าซนีออนที่ดีที่สุดที่ความดันรวมต่างๆ กันที่ทำให้แสงเลเซอร์ออกมามีกำลังสูงสุด และใช้เพื่อศึกษาเสถียรภาพของแสงเลเซอร์ที่สร้างขึ้นที่อัตราส่วนต่างๆ มีขนาดยาว 30 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดชั้นนอก 5 เซนติเมตร ภายในเป็นหลอดแก้วรูเล็ก (Capillary Tube) เส้นผ่าศูนย์กลางภายในประมาณ 1 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 15 เซนติเมตร ที่ปลายทั้งสองของหลอดมีกระจกเลเซอร์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวส่งฟุ้งเชิงทัศนคติอยู่อย่างถาวร ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 หลอดเลเซอร์ชนิดกระจกภายใน

3.1.2 หลอดเลเซอร์ชนิดกระจกภายนอก (external mirror)

หลอดเลเซอร์ชนิดกระจกภายนอกที่ใช้ในการศึกษา มีขนาดความยาว 30 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางหลอดชั้นนอก 5 เซนติเมตร ภายในเป็นหลอดแก้วรูเล็ก มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในประมาณ 2 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 15 เซนติเมตรเช่นกันแต่ที่ปลายด้านหน้าของหลอดปิดด้วยหน้าต่างทำด้วยแก้วควอทซ์ (Quartz window) ทำมุมบรีวสเตอร์และมีกระจกเลเซอร์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อนค่าต่างๆติดตั้งอยู่ภายนอก ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 หลอดที่ติดตั้งกระจกภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

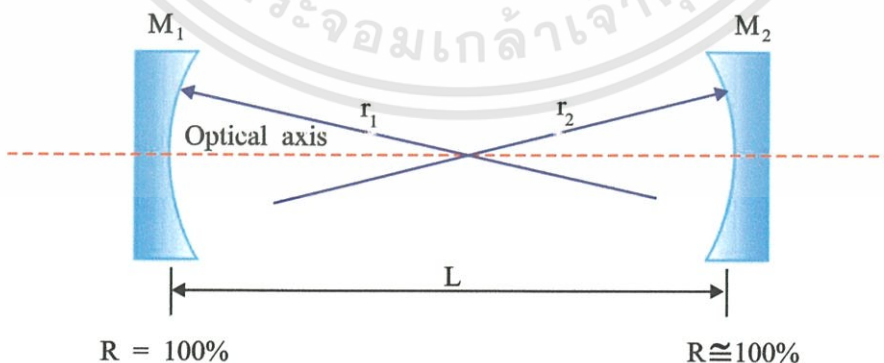
หลอดนี้ใช้ศึกษาการแปรกำลังของเลเซอร์เมื่อค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจกหน้าเปลี่ยนไป นอกจากนี้ยังใช้ศึกษารูปแบบของโหมดตามขวางแบบต่างๆและการลู่ออกของลำแสงเลเซอร์ เมื่อแสงเลเซอร์แสดงโหมดเป็น TEM_{00} และ Multimode

3.2 การติดตั้งกระจกเลเซอร์และการจัดแนว(Alignment) หลอดเลเซอร์

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงหลอดเลเซอร์ชนิดกระจกภายนอก รายละเอียดของการติดตั้งกระจกและการจัดแนวระบบเลเซอร์ มีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 การติดตั้งกระจกเลเซอร์

ในการทำให้เกิดการขยายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือแสงเลเซอร์นั้นนอกจากจะต้องหาสารเลเซอร์ที่เหมาะสมและสามารถจะเกิดกระบวนการทางเลเซอร์ได้แล้วยังต้องมีตัวส่งพ้องเชิงทัศนที่ดีเพื่อให้เกิดการขยายทางแสงระบบส่งพ้องเชิงทัศนประกอบไปด้วย กระจก 2 บาน คือส่วนที่เป็นกระจกหน้า M_1 และกระจกหลัง M_2 ปิดหัวและท้ายของระบบเลเซอร์ ดังรูปที่ 3.3 กระจกเลเซอร์มีส่วนสำคัญมากโดยจะมีผลต่อค่าประสิทธิภาพของเลเซอร์เพราะตำแหน่งและการจัดระนาบของกระจกมีผลต่อการเกิดการสูญเสียพลังงานในระบบของเลเซอร์ ดังนั้นในการพิจารณาเลือกกระจกโดยทั่วไปจะพิจารณาอยู่ 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ เปอร์เซ็นต์การสะท้อนและรัศมีความโค้งของกระจก เปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจกนั้นส่วนใหญ่จะถูกกำหนดได้โดยการเคลือบสารไดอิเล็กทริกลงบนผิวหน้าของกระจก สารไดอิเล็กทริกแต่ละชนิดที่ใช้เคลือบกระจกเลเซอร์นั้นจะต้องมีการคำนวณเพื่อให้เกิดเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่นที่ต้องการและเหมาะสมกับระบบเลเซอร์นั้นด้วย



รูปที่ 3.3 ตัวส่งพ้องเชิงทัศนที่ประกอบด้วยกระจกหน้าและกระจกหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวสั้นพ้องเชิงทัศนจะประกอบไปด้วยกระจกที่วางขนานกันสองแผ่นทำหน้าที่รวมลำแสงให้สะท้อนกลับ ไปมาในตัวสั้นพ้องเชิงทัศนและสารเลเซอร์เท่านั้น แต่เนื่องจากผลของการเกิดการสะท้อนของแสงทำให้ไม่สามารถที่จะรวบรวมลำแสงนี้ได้อย่างสมบูรณ์แบบได้ด้วยกระจกราบธรรมดาเพราะมีแสงบางส่วนกระจายออกตามขอบกระจกนั้นส่งผลให้เลเซอร์ที่ได้มีเสถียรภาพต่ำ ดังนั้นในทางปฏิบัติเพื่อป้องกันความสูญเสียเนื่องจากปรากฏการณ์ดังกล่าวจึงใช้กระจกเลเซอร์เป็นแบบโค้ง เพื่อให้เหมาะสมกับการเกิดการขยายทางแสงของเลเซอร์ รูปที่ 3.3 แสดงระบบสั้นพ้องเชิงทัศนที่ประกอบด้วยกระจกเว้า 2 บาน คือ M_1 และ M_2 ซึ่งมีจุดศูนย์กลางความโค้งอยู่บนแนวแกนแสง กระจกทั้งสองนี้วางห่างกันเป็นระยะ L และมีรัศมีความโค้งเท่ากับ r_1 และ r_2 ตามลำดับ หากจะพิจารณาทิศทางที่แสงเดินทางและสะท้อนกลับ ไปมาแล้วพบว่าเมื่อเกิดการสะท้อนหลายๆ ครั้งลำแสงจะเริ่มเบนออกแสดงว่าเกิดการสูญเสียเกิดขึ้นในระบบเลเซอร์จะทำให้ประสิทธิภาพของระบบเลเซอร์ลดลงไปด้วยแต่ถ้าแสงสะท้อนกลับ ไปมาแล้วไม่เบนออกแสดงว่าไม่มีการสูญเสียพลังงาน ดังนั้นในการจัดวางตำแหน่งและระนาบของกระจกเลเซอร์ซึ่งมีระยะ L และมีรัศมีความโค้งของกระจกสะท้อนแสง r_1 และ r_2 จะมีเสถียรภาพดีและมีลักษณะการสูญเสียน้อยหรือไม่นั้นจะกำหนดได้จากค่าจี-พารามิเตอร์ (g-parameter) ซึ่งเป็นปริมาณ ไม่มีหน่วยโดยมีสูตร คือ[7]

$$g_1 = 1 - \frac{L}{r_1} \text{ และ } g_2 = 1 - \frac{L}{r_2} \quad (3.1)$$

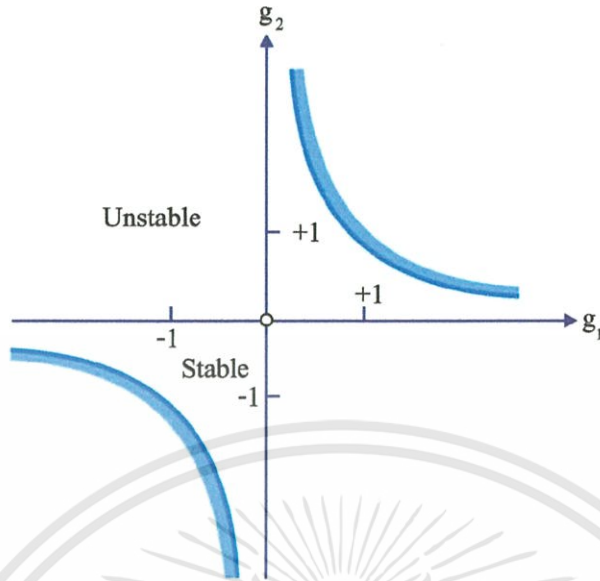
สำหรับกระจก M_1 และ M_2 ตามลำดับ ระบบสั้นพ้องเชิงทัศนจะมีเสถียรภาพดี ถ้า

$$0 < g_1 g_2 < 1 \quad (3.2)$$

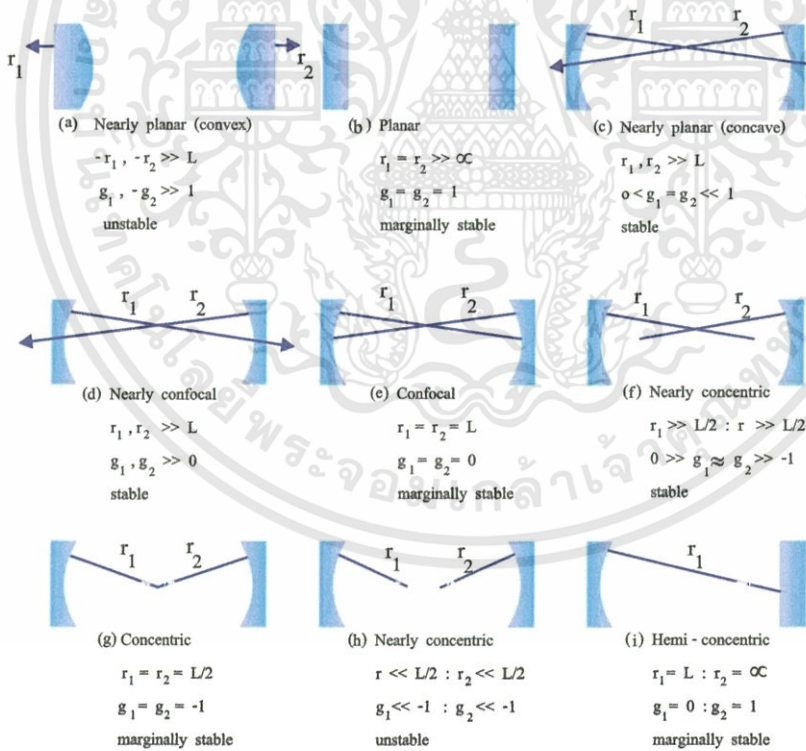
และไม่มีเสถียรภาพ ถ้า

$$g_1 g_2 < 0 \text{ และ } g_1 g_2 > 1$$

แต่ถ้า $g_1 g_2$ มีค่าเป็น 0 หรือ 1 จะอยู่ที่จุดแบ่งระหว่างความมีเสถียรภาพและไม่มีเสถียรภาพทำให้ปรับกระจกให้เกิดแสงเลเซอร์ได้ยากเรียกว่า Marginally Stable ดังรูปที่ 3.4 ส่วนการเลือกใช้ตัวสั้นพ้องเชิงทัศนแบบต่างๆ จะแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 ขอบเขตของค่าจี-พารามิเตอร์ที่มีเสถียรภาพและไม่มีเสถียรภาพ



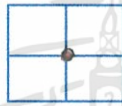
รูปที่ 3.5 การเลือกใช้กระจกที่มีรัศมีความโค้งต่างกันและมีเสถียรภาพแตกต่างกันไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

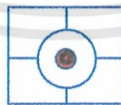
3.2.2 การจัดแนวหลอดเลเซอร์

การจัดแนว คือการที่จะต้องทำให้กระจกหน้า หลอดเลเซอร์และกระจกหลังเป็นแนวเดียวกัน การจัดแนวหลอดเลเซอร์มีความสำคัญมากในการสร้างเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนชนิดกระจกภายนอกเนื่องจากเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนชนิดนี้ประกอบด้วยกระจกหน้าและกระจกหลังที่ไม่ได้ยึดติดไว้อย่างถาวร นอกจากนี้กระจกหน้าและกระจกหลังจะต้องขนานกันด้วยจึงจะทำให้แสงเลเซอร์ที่ออกมามีกำลังสูงสุด การจัดแนวเลเซอร์สามารถทำได้หลายวิธี เช่นการใช้เลเซอร์อีกตัวหนึ่งยิงเข้าไปในหลอดเลเซอร์แล้วจัดให้กระจกหน้า กระจกหลังและหลอดเลเซอร์ให้อยู่ในแนวเดียวกันคดขยการสังเกตแสงที่ทะลุผ่านและสะท้อนจากระบบเลเซอร์ หรืออีกวิธีหนึ่งได้แก่วิธี Autocollimator ซึ่งมีความสะดวกมากกว่าดังนั้นจึงเลือกใช้วิธีนี้เป็นหลัก ซึ่งมีการจัดอุปกรณ์ดังแสดงในรูปที่ 3.6 และมีขั้นตอนของการจัดแนวเลเซอร์ดังนี้

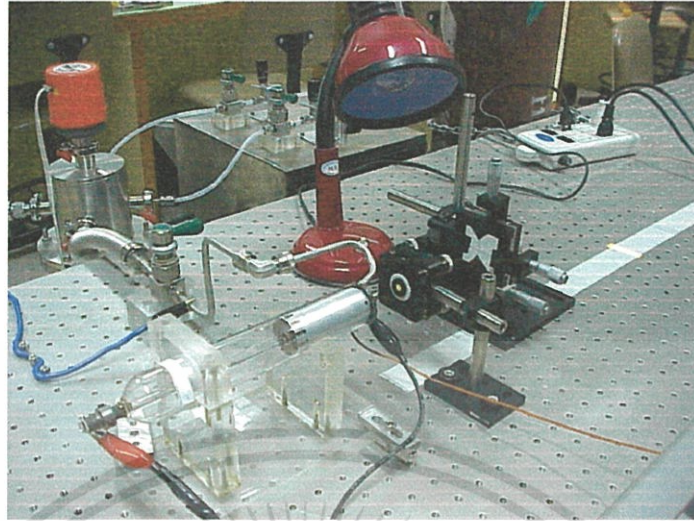
- 1) ใช้กระดาษแข็งเจาะรูเล็กๆ (pinhole) แล้วเขียนเส้นกากบาททับรูที่เจาะดังรูป



- 2) เปิดเลเซอร์ซึ่งขณะนี้ยังไม่เกิดแสงเลเซอร์คงมีแต่แสงของพลาสมาดีสชาร์จเท่านั้น
- 3) เปิด โคมไฟแล้วใช้ตาแนบไปกับรูกระดาษ โดยให้ด้านที่เขียนกากบาทหันไปทางกระจกเลเซอร์ที่ต้องการจัดแนวจะเห็นเงาของกากบาทสะท้อนจากกระจกเลเซอร์เข้าสู่ตาของผู้สังเกต
- 4) พยายามให้ตาของผู้สังเกตและรูของหลอดแก้วรูเล็ก (capillary) อยู่ในแนวเดียวกันสิ่งที่สังเกตเห็นจะต้องมีลักษณะดังรูป ก่อนปรับกระจกจะเห็นเงาของกากบาทและรูของหลอดแก้วรูเล็กจะมีลักษณะดังรูป
- 5) ปรับกระจกเลเซอร์ให้กากบาทไปทับกับรูที่เห็นในข้อ 4 ดังรูป



แสงเลเซอร์จะเกิดขึ้นถ้าการจัดแนวถูกต้อง(ในตอนนี้ต้องระมัดระวังอย่างมากเพราะแสงเลเซอร์จะพุ่งออกมาทันที ควรเอาตาออกมาก่อนแล้วค่อยๆ ปรับกระจกจนเกิดแสงเลเซอร์)

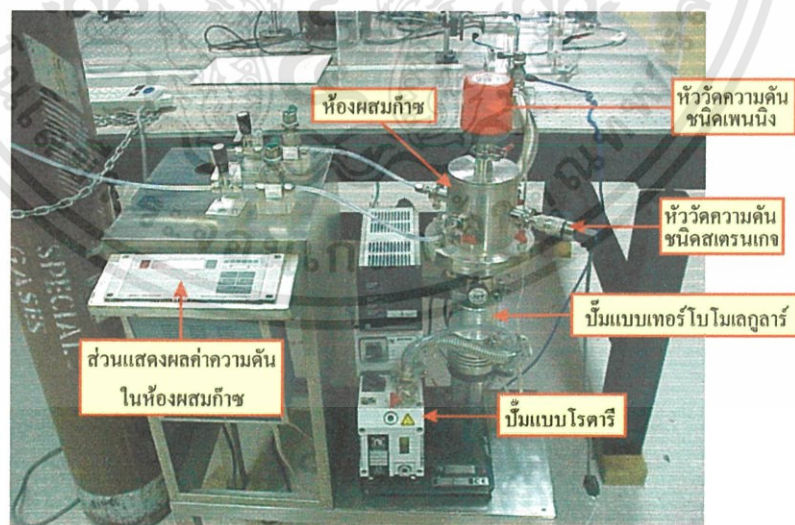


รูปที่ 3.6 การจัดแนวเลเซอร์ด้วยวิธี Autocollimator

3.3 ระบบสุญญากาศ

ระบบสุญญากาศที่ใช้ประกอบด้วยส่วนประกอบหลักๆ ได้แก่

3.3.1 ระบบปั๊มสุญญากาศ



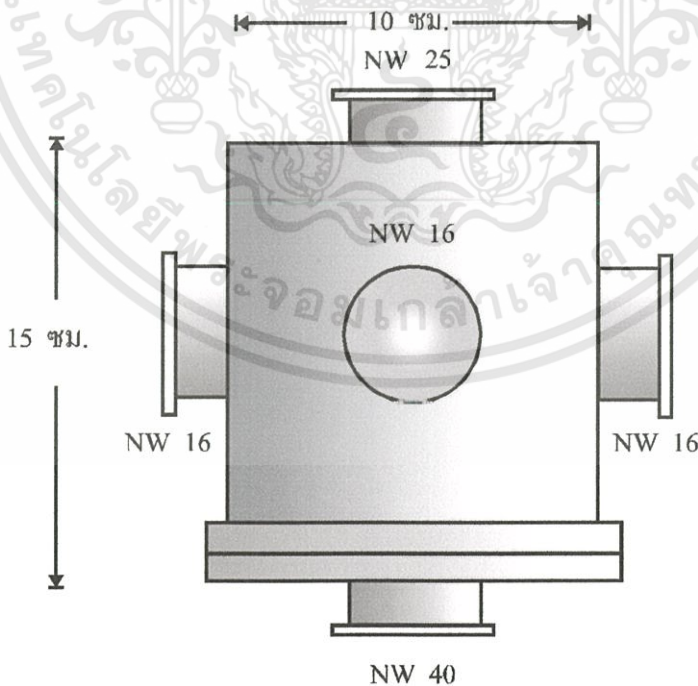
รูปที่ 3.7 ระบบสุญญากาศที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.7 ระบบปั๊มสุญญากาศทำหน้าที่ดูดอากาศออกจากระบบ ระบบปั๊มที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นลักษณะของสถานีปั๊ม (Pump Station) สามารถเคลื่อนย้ายได้ รุ่น PT 50 ของบริษัท Leybold ประกอบด้วยปั๊ม 2 ชนิด ติดอยู่บนฐานเดียวกัน คือปั๊มเทอร์โบโมเลกูลาร์ (Turbomolecular pump) และ ปั๊มโรตารี (Rotary pump)

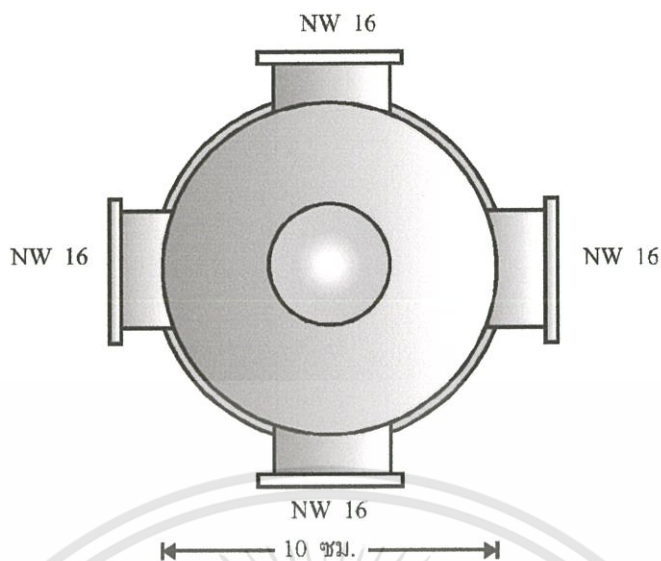
3.3.2 การออกแบบและสร้างห้องผสมก๊าซฮีเลียม-นีออน

ในงานวิจัยนี้จำเป็นต้องศึกษาการเกิดแสงเลเซอร์เมื่ออัตราส่วนของก๊าซผสมระหว่างก๊าซฮีเลียมและก๊าซนีออนเปลี่ยนไป ในการปฏิบัติได้มีการทดลองวัดกำลังของเลเซอร์ที่ออกมาโดยใช้ก๊าซผสมของฮีเลียมและนีออนในอัตราส่วน He:Ne = 5:1 ถึง 20:1 ที่ความดันรวมของก๊าซผสมต่างกัน ดังนั้นจึงต้องออกแบบและสร้างห้องผสมก๊าซ (mixed gas chamber) ขึ้น ห้องผสมก๊าซนี้ทำด้วยสแตนเลสสตีล (Stainless Steel) เป็นรูปทรงกระบอกกลวง มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ซม. และยาว 15 ซม. มีช่องทางที่จะเติมก๊าซฮีเลียมและก๊าซนีออนอย่างละหนึ่งช่อง ช่องต่อหัววัดความดันชนิดสเตรนเกจ (Strain Gauge) ของบริษัท Edward ซึ่งสามารถวัดความดันได้ในช่วง 1-1000 มิลลิบาร์และชนิดเพนนิ่ง (Pening Gauge) ของบริษัท Edward เช่นเดียวกัน สามารถวัดความดันได้ในช่วง 10^{-2} - 10^{-8} มิลลิบาร์อย่างละช่อง ห้องผสมก๊าซที่สร้างขึ้นสามารถรักษาสภาพสุญญากาศได้ถึง 10^{-7} มิลลิบาร์ (mbar) ดังแสดงในรูปที่ 3.8 3.9 และ 3.10

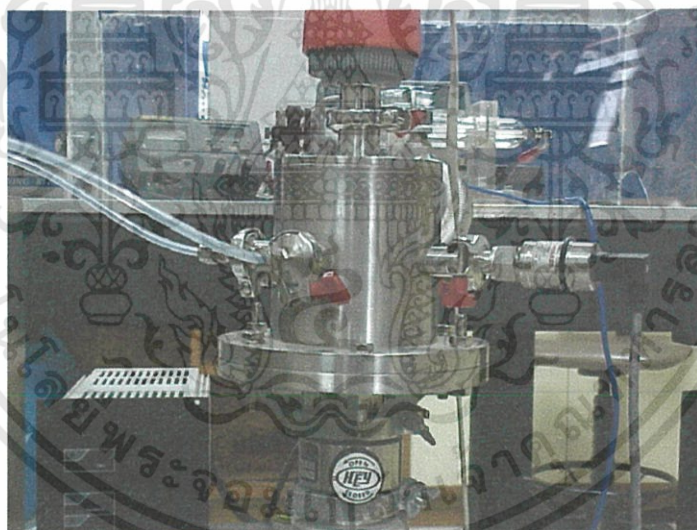


รูปที่ 3.8 ภาพด้านข้างของห้องผสมก๊าซฮีเลียมและนีออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



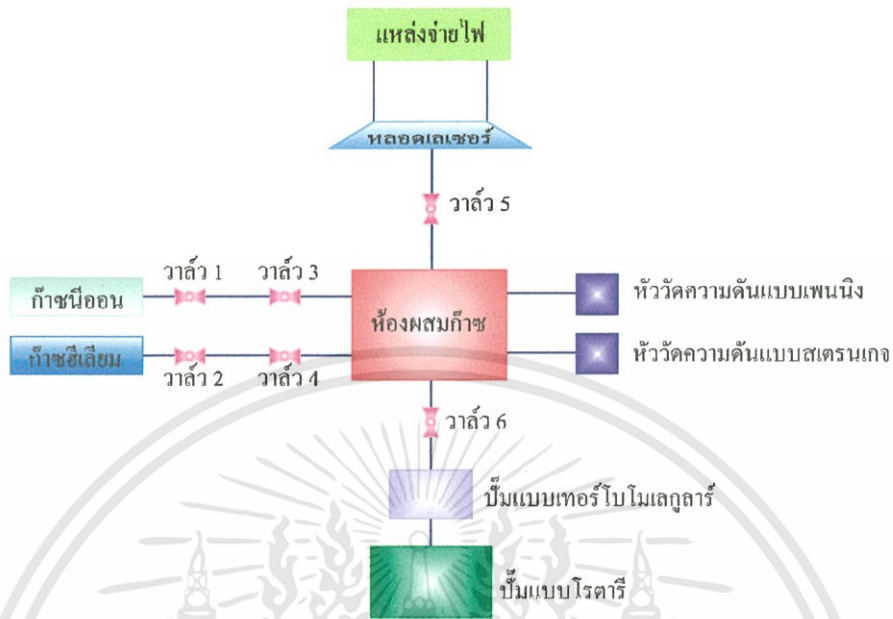
รูปที่ 3.9 ภาพด้านบนของห้องผสมก๊าซฮีเลียมและก๊าซนีออน



รูปที่ 3.10 ภาพถ่ายห้องผสมก๊าซฮีเลียมและก๊าซนีออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การประกอบระบบเลเซอร์ ฮีเลียม-นีออน

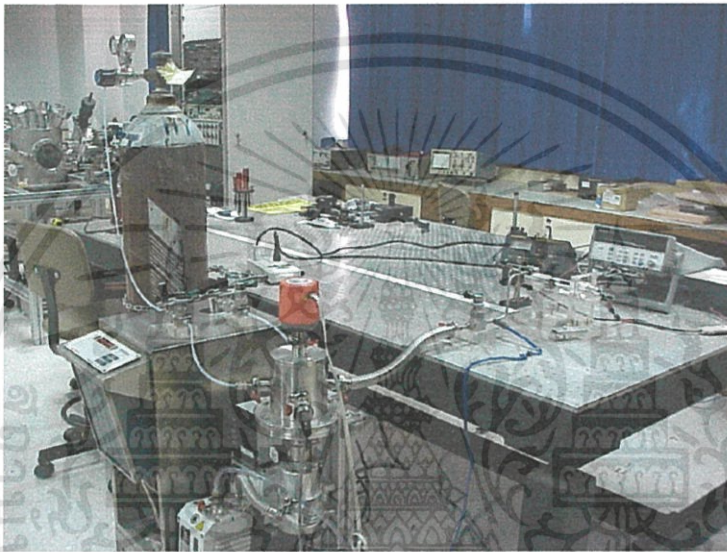


รูปที่ 3.11 แผนภาพระบบเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนที่สร้างขึ้น

จากรูปที่ 3.11 อากาศจะถูกดูดออกจากหลอดเลเซอร์โดยปั๊มสองตัว คือ ปั๊มเทอร์โบโมเลกุลาร์และปั๊มโรตารี การวัดความดันภายในหลอดจะใช้หัววัดความดันของบริษัท Edward 2 ชนิด คือ หัววัดความดันแบบสปริงเกลจ สามารถวัดความดันในช่วง 1 - 1000 มิลลิบาร์ ใช้สำหรับวัดความดันรวมของก๊าซผสมระหว่างฮีเลียมและนีออน หัววัดความดันแบบแบนเพนนิ่ง หัววัดความดันชนิดนี้สามารถวัดความดันได้ในช่วง 10^{-2} - 10^{-8} มิลลิบาร์ ใช้วัดความดันในช่วงความดันต่ำมาก ซึ่งในระบบนี้สามารถทำได้ถึง 10^{-7} มิลลิบาร์ และในระบบนี้ยังมีวาล์วสุญญากาศ 6 ตัว ซึ่งทำหน้าที่แตกต่างกันดังนี้

วาล์วหมายเลข 1 และวาล์วหมายเลข 2 ทำหน้าที่ควบคุมการไหลของก๊าซนีออนและก๊าซฮีเลียมตามลำดับให้ไหลเข้าสู่ห้องผสมก๊าซโดยที่วาล์วนี้สามารถควบคุมอัตราการไหลของก๊าซให้เข้าสู่ห้องผสมก๊าซได้ต่ำถึง 0.05 sccm ทำให้สามารถควบคุมอัตราการไหลของก๊าซได้แม่นยำมากขึ้น วาล์วหมายเลข 3 และ 4 จะกั้นระหว่างวาล์วควบคุมอัตราการไหลของก๊าซกับห้องผสมก๊าซ เนื่องจากเมื่อระบบมีความดันต่ำมากๆ วาล์วควบคุมการไหลจะปิดกั้นก๊าซไม่อยู่ทำให้มีก๊าซไหลเข้าสู่ระบบ จึงต้องมีวาล์วหมายเลข 3 และ 4 ซึ่งเป็นวาล์วสำหรับปิดเปิดก๊าซมากขึ้นอีกชั้นหนึ่ง เมื่อจะทำการผสมก๊าซจะต้องเปิดวาล์วหมายเลข 3 และ 4 ก่อน จึงค่อยเปิดวาล์วควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ วาล์วหมายเลข 5 เป็นวาล์วที่กั้นระหว่างหลอดเลเซอร์กับห้องผสมก๊าซ วาล์วหมายเลข 6 เป็น

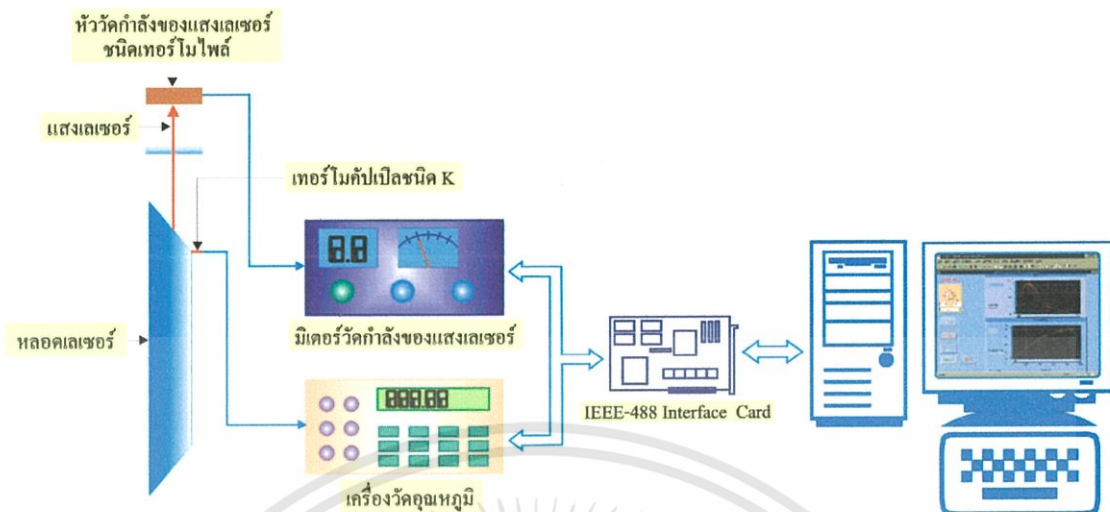
วาล์วที่กั้นระหว่างห้องผสมก๊าซกับปั๊มสุญญากาศ เมื่อทำให้ระบบมีความดันต่ำถึง 10^{-7} มิลลิบาร์ แล้วจึงจะทำการผสมก๊าซ โดยเปิดวาล์วหมายเลข 3 และ 4 จากนั้นเปิดวาล์วหมายเลข 1 เพื่อปล่อยก๊าซน็อนเข้าสู่ห้องผสมก๊าซเมื่อได้ความดันตามต้องการแล้วปิดวาล์วหมายเลข 1 เปิดวาล์วหมายเลข 2 ปล่อยก๊าซฮีเลียมเข้าสู่ห้องผสมก๊าซเมื่อได้ความดันตามต้องการปิดวาล์วหมายเลข 2 ก๊าซทั้งสองชนิดจะผสมกันอยู่ในห้องผสมก๊าซเปิดวาล์วหมายเลข 5 เพื่อให้ก๊าซผสมไหลเข้าสู่หลอดเลเซอร์ เปิดสวิตช์แหล่งจ่ายไฟความต่างศักย์สูง เพื่อทดสอบการคิซาร์จและการเกิดเลเซอร์ต่อไป สำหรับภาพถ่ายของระบบเลเซอร์ฮีเลียม-น็อนที่สร้างขึ้นจะแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ภาพถ่ายของระบบเลเซอร์ฮีเลียม-น็อนที่สร้างขึ้น

3.5 การจักระบบการวัดด้วยคอมพิวเตอร์

การทดลองเพื่อวัดกำลังของเลเซอร์จะใช้เครื่องวัดกำลังของเลเซอร์ รุ่น 13PEM001 ของบริษัท Melles Griot หัววัดกำลังเป็นแบบเทอร์โมไพล์ (Thermopile) สามารถวัดกำลังของแสงเลเซอร์ได้ในช่วง 10 ไมโครวัตต์ถึง 2 วัตต์ ในย่านที่ตามองเห็น สำหรับการวัดอุณหภูมิจะใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ในการวัด โดยที่เทอร์โมคัปเปิลนี้จะต่ออยู่กับเครื่อง Data Acquisition รุ่น HP 34970A ของบริษัท Hewlett Packard ข้อมูลการวัดจากเครื่องมือวัดทั้งสองนี้จะถูกส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์ผ่านระบบสายข้อมูล IEEE-488Bus โปรแกรมควบคุมระบบนี้พัฒนาขึ้นโดยห้องปฏิบัติการเลเซอร์และฟิสิกส์พื้นผิว ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สจล. ระบบการวัดด้วยคอมพิวเตอร์สำหรับงานวิจัยนี้จะแสดงในรูปที่ 3.13 และ 3.14



รูปที่ 3.13 แผนภาพของระบบการวัด



รูปที่ 3.14 ภาพถ่ายของระบบการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลองและผลการทดลอง

จากที่กล่าวในตอนต้นแล้วว่าการศึกษาระบบเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนนี้จะแบ่งการศึกษาออกเป็นสองส่วนคือส่วนแรกศึกษาการแปรกำลังของเลเซอร์เมื่อเปลี่ยนค่าความดันรวมภายในหลอดเลเซอร์ที่อัตราส่วนผสมของก๊าซค่าหนึ่งๆ ศึกษาการแปรกำลังของเลเซอร์เมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนผสมของก๊าซและศึกษาเสถียรภาพของแสงเลเซอร์ที่สร้างขึ้นเมื่ออัตราส่วนผสมของก๊าซเปลี่ยนไป สำหรับการทดลองในส่วนแรกนี้จะใช้หลอดเลเซอร์ชนิดกระจกภายใน ในส่วนที่สอง จะทำการศึกษการแปรกำลังของเลเซอร์เมื่อเปลี่ยนกระจกหน้าที่มีเปอร์เซ็นต์การสะท้อนต่างกัน ศึกษาการลู่ออกของลำแสงเลเซอร์ที่สร้างขึ้นที่โหมด TEM_{00} และ Multimode จากนั้นเปรียบเทียบโหมด TEM_{00} ของแสงเลเซอร์ที่สร้างขึ้นกับโหมด TEM_{00} ของเลเซอร์ที่ผลิตจากต่างประเทศและสุดท้ายเป็นการศึกษาโหมดตามขวาง (Transverse Mode) แบบต่างๆ เมื่อมีการปรับกระจกเลเซอร์ การศึกษาในส่วนที่สองนี้จะทำการศึกษด้วยหลอดชนิดกระจกภายนอกซึ่งมีกระจกหน้าอยู่ภายนอกตัวหลอด ทำให้สามารถปรับกระจกเป็นโหมดตามขวางแบบต่างๆ ได้ รายละเอียดการทดลองของหลอดเลเซอร์ทั้งสองมีดังต่อไปนี้

4.1 การศึกษาการเกิดแสงเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนโดยใช้หลอดเลเซอร์ชนิดกระจกภายใน

4.1.1 ศึกษาการแปรกำลังของแสงเลเซอร์ต่อความดันรวม

ในการศึกษานี้จะทำการผสมก๊าซฮีเลียมและนีออนในอัตราส่วนต่างๆกันและที่ความดันรวมต่างๆ กัน โดยมีวิธีการทดลองดังนี้

1. สูบอากาศออกจากระบบเลเซอร์โดยใช้ปั๊มสุญญากาศสองตัวคือ โรตารีปั๊ม (Rotary Pump) และเทอร์โบโมเลกูลาร์ (Turbomolecular) ให้ระบบมีความดันประมาณ 10^{-7} มิลลิบาร์ (mbar)
2. ปิดวาล์วหลักและวาล์วที่หลอดเลเซอร์ จากนั้นปล่อยก๊าซนีออนและก๊าซฮีเลียมเข้าไปผสมกันในห้องผสมก๊าซโดยใช้หลักความดันย่อย เช่น ต้องการผสมก๊าซฮีเลียมและก๊าซนีออนที่อัตราส่วน 5:1 ที่ความดันรวม 6 มิลลิบาร์ จะต้องทำดังนี้

- 2.1 เมื่อห้องผสมก๊าซมีความดันประมาณ 10^{-7} มิลลิบาร์แล้วเติมก๊าซนีออนจนความดันในห้องผสมก๊าซมีค่า 1 มิลลิบาร์
- 2.2 หยดเติมก๊าซนีออนแล้วเติมก๊าซฮีเลียมเข้าไปจนกระทั่งความดันรวมเป็น 6 มิลลิบาร์ ความดันของฮีเลียม คือ $6-1 = 5$ มิลลิบาร์
- 2.3 จะได้อัตราส่วนของก๊าซฮีเลียมและก๊าซนีออนเท่ากับ 5:1 ที่ความดันรวม $5+1 = 6$ มิลลิบาร์

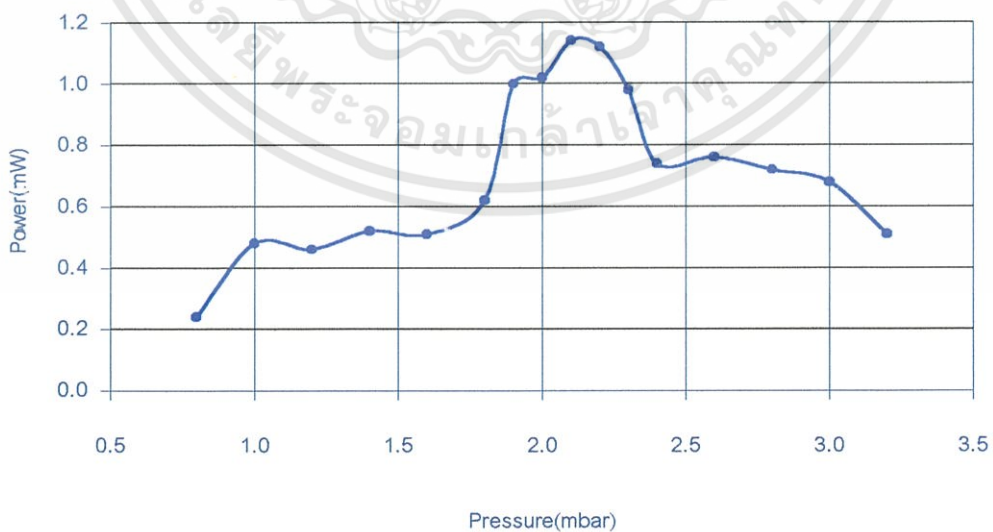
จากหลักการดังกล่าวนี้ทำให้สามารถผสมก๊าซฮีเลียมและก๊าซนีออนได้ในอัตราส่วนและความดันรวมที่ต่างกัน ทำให้การวิจัยครั้งนี้สามารถศึกษาคุณสมบัติของแสงเลเซอร์ที่สร้างขึ้นได้อย่างละเอียดมากยิ่งขึ้น

3. ผสมก๊าซในอัตราส่วน 5:1 ที่ความดันรวมค่าต่างๆกันเพื่อหาค่ากำลังสูงสุดของแสงเลเซอร์
4. วัดและบันทึกกำลังของแสงเลเซอร์ที่เกิดขึ้นทุกๆ 2 วินาทีด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นที่ห้องปฏิบัติการเลเซอร์และฟิสิกส์พื้นผิว ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สจล.
5. นำข้อมูลมาเขียนกราฟระหว่างกำลังของแสงเลเซอร์และความดันรวมภายในหลอดเลเซอร์ที่อัตราส่วน 5:1
6. ทำการทดลองซ้ำแต่เปลี่ยนอัตราส่วนเป็น 6:1 7:1 8:1 10:1 12:1 14:1 16:1 18:1 และ 20:1 ตามลำดับ
7. เขียนกราฟระหว่างกำลังสูงสุดของแสงเลเซอร์ในแต่ละอัตราส่วนกับอัตราส่วนของก๊าซ
8. วิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้

4.1.1.1 การวัดกำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่อัตราส่วน He:Ne = 5:1

ตารางที่ 4.1 กำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่ความดันรวมค่าต่างๆ ของอัตราส่วน 5:1

ความดันรวม (mbar)	กำลังสูงสุดเฉลี่ย (mW)
0.8	0.24
1.0	0.48
1.2	0.46
1.4	0.52
1.6	0.51
1.8	0.62
1.9	1.00
2.0	1.02
2.1	1.14
2.2	1.12
2.3	0.98
2.4	0.74
2.6	0.76
2.8	0.72
3.0	0.68
3.2	0.51



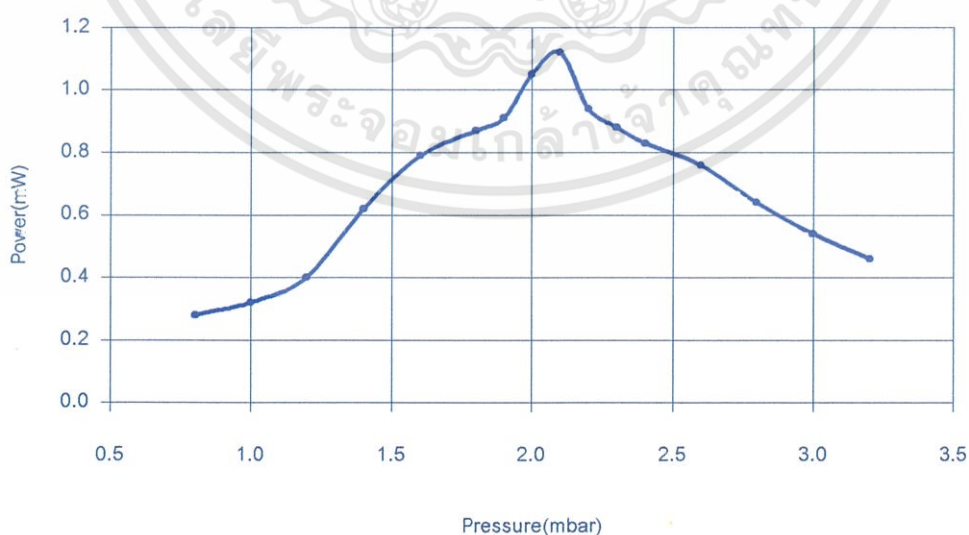
รูปที่ 4.1 กำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 5:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.2 การวัดกำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่อัตราส่วน He:Ne = 6:1

ตารางที่ 4.2 กำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่ความดันรวมต่างๆ กันที่อัตราส่วน 6:1

ความดันรวม (mbar)	กำลังสูงสุดเฉลี่ย (mW)
0.8	0.28
1.0	0.32
1.2	0.4
1.4	0.62
1.6	0.79
1.8	0.87
1.9	1.01
2.0	1.05
2.1	1.12
2.2	0.94
2.3	0.88
2.4	0.83
2.6	0.76
2.8	0.64
3.0	0.54
3.2	0.46



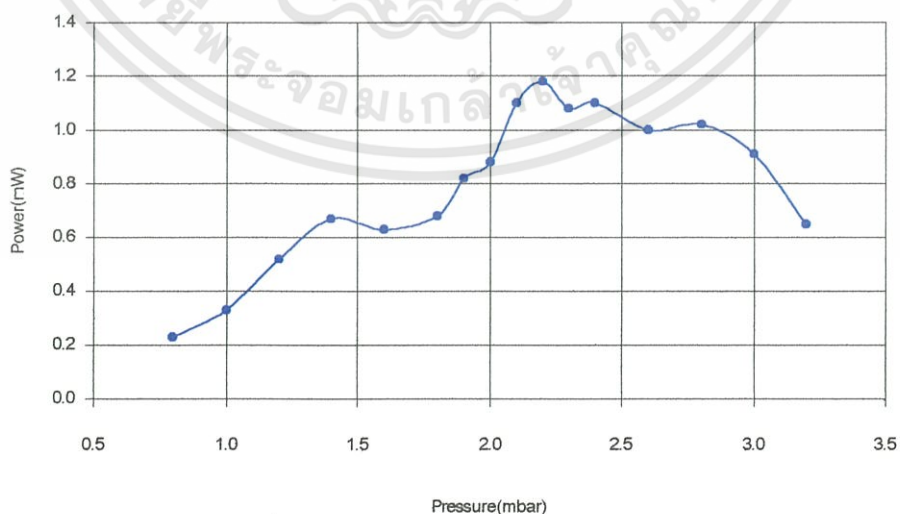
รูปที่ 4.2 กำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 6:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.3 การวัดกำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่อัตราส่วน He:Ne = 7:1

ตารางที่ 4.3 กำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่ความดันรวมต่างๆ กันที่อัตราส่วน 7:1

ความดันรวม (mbar)	กำลังสูงสุดเฉลี่ย (mW)
0.8	0.23
1.0	0.33
1.2	0.52
1.4	0.67
1.6	0.63
1.8	0.68
1.9	0.82
2.0	0.88
2.1	1.10
2.2	1.18
2.3	1.08
2.4	1.10
2.6	1.00
2.8	1.02
3.0	0.91
3.2	0.65



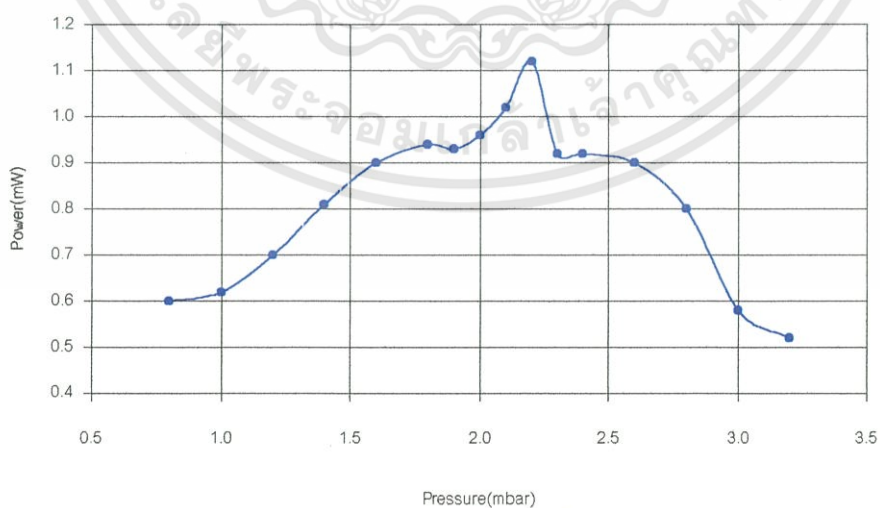
รูปที่ 4.3 กำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 7:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.4 การวัดกำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่อัตราส่วน He:Ne = 8:1

ตารางที่ 4.4 กำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่ความดันรวมต่างๆ กันที่อัตราส่วน 8:1

ความดันรวม (mbar)	กำลังสูงสุดเฉลี่ย (mW)
0.8	0.60
1.0	0.62
1.2	0.70
1.4	0.81
1.6	0.90
1.8	0.94
1.9	0.93
2.0	0.96
2.1	1.02
2.2	1.12
2.3	0.92
2.4	0.92
2.6	0.90
2.8	0.80
3.0	0.58
3.2	0.52



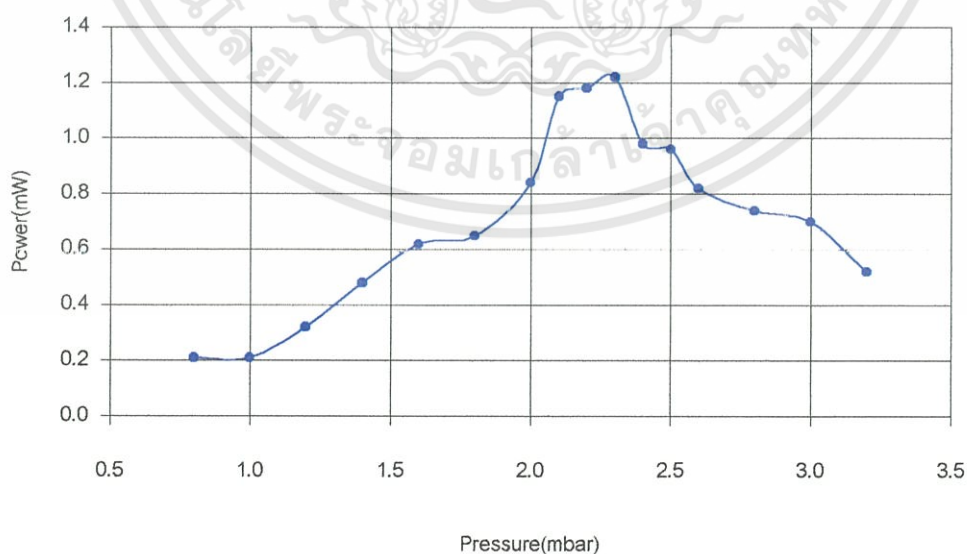
รูปที่ 4.4 กำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 8:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.5 การวัดกำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่อัตราส่วน He:Ne = 10:1

ตารางที่ 4.5 กำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่ความดันรวมต่างๆ กันที่อัตราส่วน 10:1

ความดันรวม (mbar)	กำลังสูงสุดเฉลี่ย (mW)
0.8	0.21
1.0	0.21
1.2	0.32
1.4	0.48
1.6	0.62
1.8	0.65
1.9	0.84
2.0	1.15
2.1	1.18
2.2	1.22
2.3	0.98
2.4	0.96
2.6	0.82
2.8	0.74
3.0	0.70
3.2	0.52



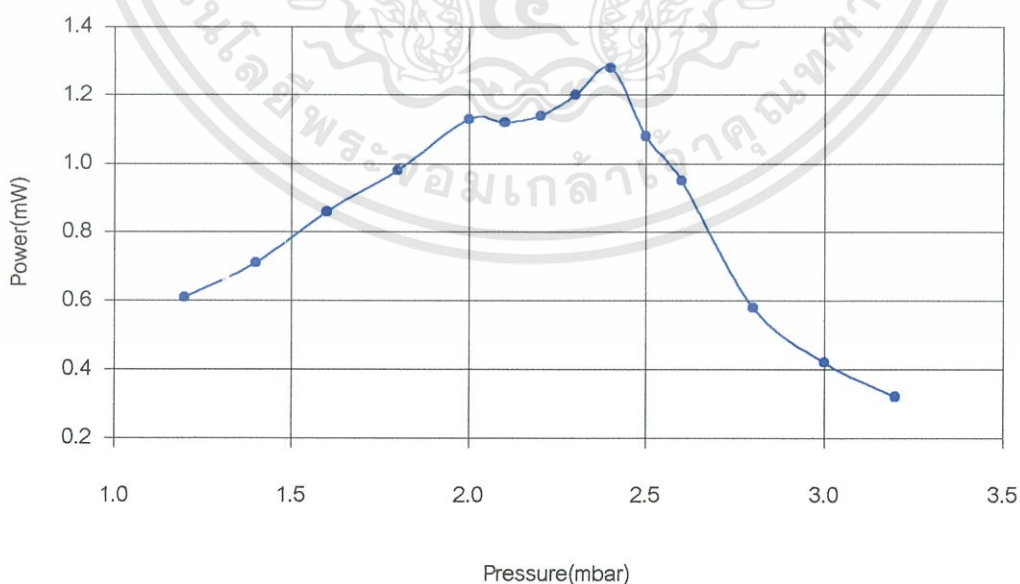
รูปที่ 4.5 กำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 10:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.6 การวัดกำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่อัตราส่วน He:Ne = 12:1

ตารางที่ 4.6 กำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่ความดันรวมต่างๆ กันที่อัตราส่วน 12:1

ความดันรวม (mbar)	กำลังสูงสุดเฉลี่ย (mW)
1.2	0.61
1.4	0.71
1.6	0.86
1.8	0.98
2.0	1.13
2.1	1.12
2.2	1.14
2.3	1.20
2.4	1.28
2.5	1.08
2.6	0.95
2.8	0.58
3.0	0.42
3.2	0.32



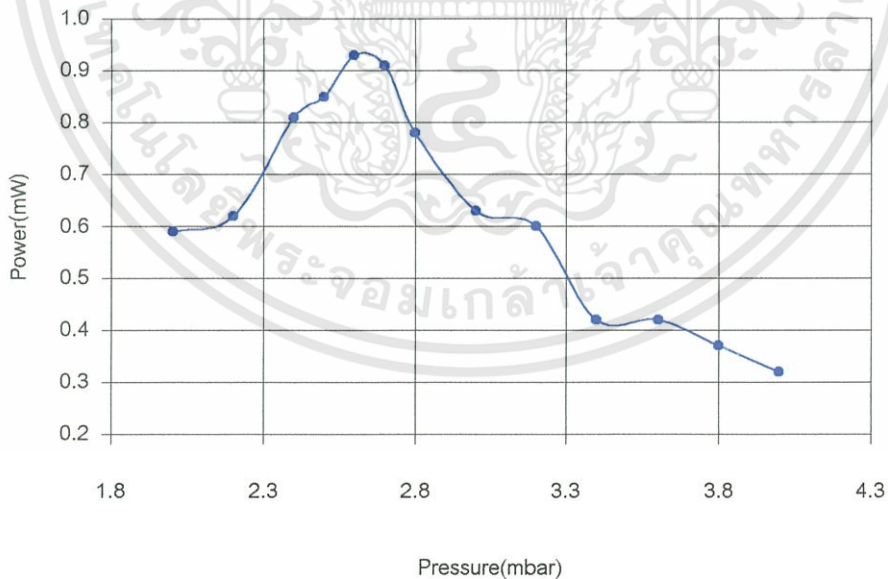
รูปที่ 4.6 กำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 12:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.7 การวัดกำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่อัตราส่วน He:Ne = 14:1

ตารางที่ 4.7 กำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่ความดันรวมต่างๆ กันที่อัตราส่วน 14:1

ความดันรวม (mbar)	กำลังสูงสุดเฉลี่ย (mW)
2.0	0.59
2.2	0.62
2.4	0.81
2.5	0.85
2.6	0.93
2.7	0.91
2.8	0.78
3.0	0.63
3.2	0.60
3.4	0.42
3.6	0.42
3.8	0.37
4.0	0.32



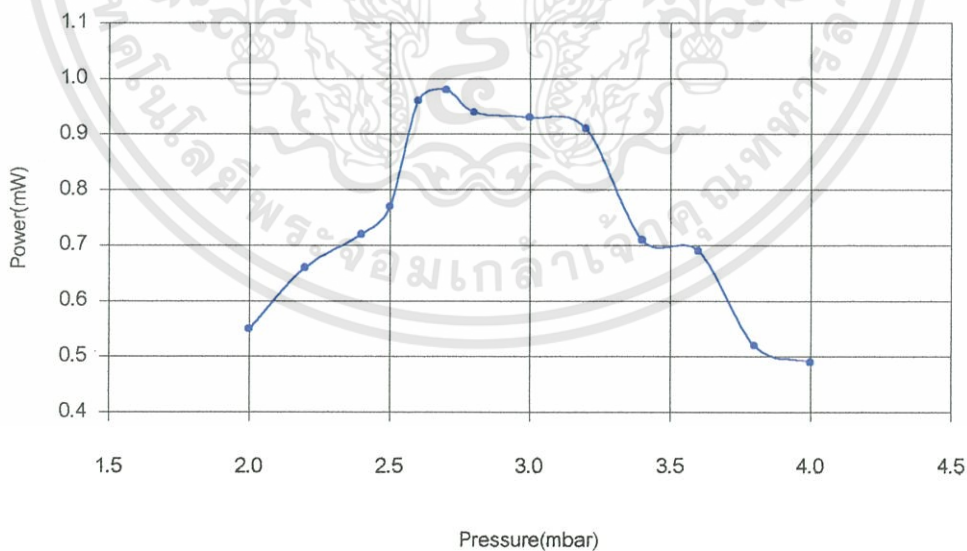
รูปที่ 4.7 กำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 14:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.8 การวัดกำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่อัตราส่วน He:Ne = 16:1

ตารางที่ 4.8 กำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่ความดันรวมต่างๆ กันที่อัตราส่วน 16:1

ความดันรวม (mbar)	กำลังสูงสุดเฉลี่ย (mW)
2.0	0.55
2.2	0.66
2.4	0.72
2.5	0.77
2.6	0.96
2.7	0.98
2.8	0.94
3.0	0.93
3.2	0.91
3.4	0.71
3.6	0.69
3.8	0.52
4.0	0.49



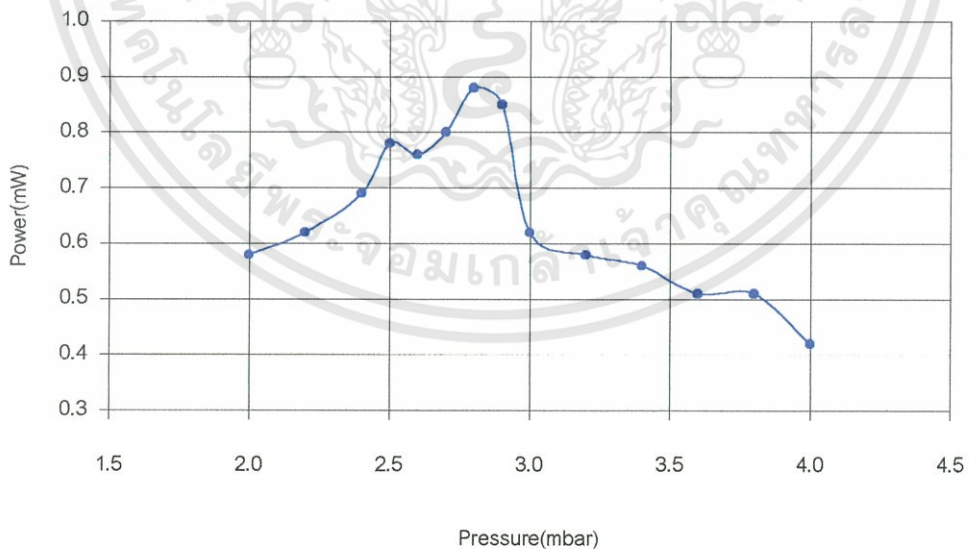
รูปที่ 4.8 กำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 16:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.9 การวัดกำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่อัตราส่วน He:Ne = 18:1

ตารางที่ 4.9 กำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่ความดันรวมต่างๆ กันที่อัตราส่วน 18:1

ความดันรวม (mbar)	กำลังสูงสุดเฉลี่ย (mW)
2.0	0.58
2.2	0.62
2.4	0.69
2.5	0.78
2.6	0.76
2.7	0.80
2.8	0.88
3.0	0.85
3.2	0.62
3.4	0.58
3.6	0.56
3.8	0.51
4.0	0.42



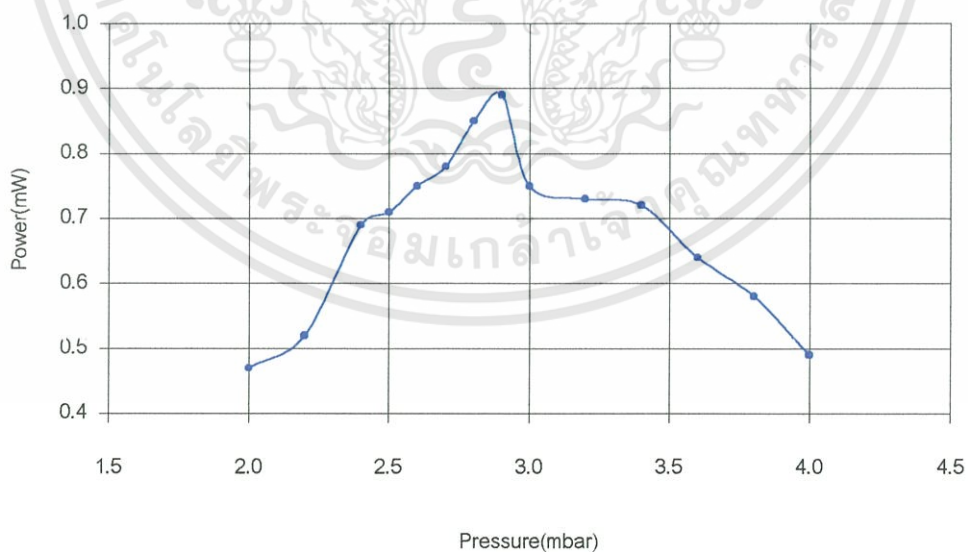
รูปที่ 4.9 กำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 18:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.10 การวัดกำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่อัตราส่วน He:Ne = 20:1

ตารางที่ 4.10 กำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่ความดันรวมต่างๆ กันที่อัตราส่วน 20:1

ความดันรวม (mbar)	กำลังสูงสุดเฉลี่ย (mW)
2.0	0.47
2.2	0.52
2.4	0.69
2.5	0.71
2.6	0.75
2.7	0.78
2.8	0.85
2.9	0.89
3.0	0.75
3.2	0.73
3.4	0.72
3.6	0.64
3.8	0.58
4.0	0.49



รูปที่ 4.10 กำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 20:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองข้างต้นสามารถสรุปเป็นตารางได้ดังนี้
ตารางที่ 4.11 กำลังสูงสุดของเลเซอร์อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วน	กำลังสูงสุด (mW)	ความดันรวม(mbar)
5:1	1.14	2.1
6:1	1.12	2.1
7:1	1.18	2.2
8:1	1.12	2.2
10:1	1.22	2.3
12:1	1.28	2.4
14:1	0.93	2.6
16:1	0.98	2.7
18:1	0.88	2.8
20:1	0.89	2.9



อัตราส่วนของก๊าซฮีเลียมต่อก๊าซนีออน 1 ส่วน

รูปที่ 4.11 กำลังสูงสุดของเลเซอร์ที่อัตราส่วนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1-4.10 สรุปได้ว่ากำลังของแสงเลเซอร์จะเพิ่มขึ้นเมื่อความดันรวมภายในหลอดเพิ่มมากขึ้นจนถึงความดันรวมค่าหนึ่งเลเซอร์จะมีกำลังสูงสุดหลังจากนั้นเมื่อเพิ่มความดันรวมขึ้นกำลังของเลเซอร์จะลดลงเรื่อยๆจนกระทั่งหายไปที่สุดในที่สุดและจากรูปที่ 4.11 จะพบว่าที่อัตราส่วนของก๊าซ 12:1 เลเซอร์จะมีกำลังสูงสุด คือ 1.28 มิลลิวัตต์ที่ความดันรวม 2.4 มิลลิบาร์ และยังพบว่าเมื่ออัตราส่วนของก๊าซมีค่ามากขึ้นความดันรวมที่ทำให้เลเซอร์มีกำลังสูงสุดจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย ในการอธิบายผลการทดลองข้างต้นจะอธิบายด้วยค่าระยะปลอดการชนเฉลี่ย (mean free path) (โดยที่ค่าระยะปลอดการชนเฉลี่ยนี้ยังคงเป็นค่าที่ทำให้เกิดเลเซอร์ได้) ของก๊าซฮีเลียมและก๊าซนีออนดังสมการต่อไปนี้ [9]

$$\bar{\lambda} = \frac{kT}{4\sqrt{2}\pi r^2 P} \quad (4.1)$$

เมื่อ r คือ รัศมีโมเลกุลของก๊าซ

P คือ ความดันของระบบ

จากสมการที่ 4.1 จะเห็นว่าค่าระยะปลอดการชนเฉลี่ยจะแปรผกผันกับความดัน ดังนั้นเมื่อความดันมีค่าน้อย จะทำให้ระยะปลอดการชนเฉลี่ยมีค่ามาก พิจารณาที่ก๊าซฮีเลียมเมื่อระยะปลอดการชนเฉลี่ยมีค่ามาก โอกาสที่อะตอมของฮีเลียมจะชนกับอะตอมของก๊าซนีออนจะมีค่าลดลง ทำให้โอกาสที่อะตอมของก๊าซฮีเลียมจะถ่ายเทพลังงานให้ก๊าซนีออนน้อยลงด้วยและเมื่อพิจารณาที่ก๊าซนีออน การที่ก๊าซนีออนจะลดระดับพลังงานจากสภาวะกระตุ้นลงสู่สถานะพื้นนั้นจะต้องชนผนังของหลอดเลเซอร์เพื่อถ่ายเทพลังงานให้แก่หลอดเลเซอร์ก่อนจึงจะตกกลับลงสู่สถานะพื้นได้ ดังนั้นถ้าระยะปลอดการชนเฉลี่ยมีค่าสูง โอกาสที่อะตอมของก๊าซนีออนจะชนผนังของหลอดเลเซอร์จะมากทำให้มีอะตอมของก๊าซนีออนลดระดับพลังงานลงสู่สถานะพื้นมาก ถึงแม้จะมีอะตอมของก๊าซนีออนที่สถานะพื้นมากแต่โอกาสที่อะตอมของก๊าซนีออนจะชนกับอะตอมของก๊าซฮีเลียมจะน้อยเนื่องจากระยะปลอดการชนเฉลี่ยมีค่ามากดังที่กล่าวมาแล้ว ดังนั้นกำลังของเลเซอร์ที่ความดันต่ำจะไม่สูงมากนัก

เมื่อพิจารณาที่ความดันสูง จะพบว่าเมื่อความดันมีค่าสูง ระยะปลอดการชนเฉลี่ยจะมีค่าลดลง พิจารณาที่ก๊าซฮีเลียมเมื่อระยะปลอดการชนเฉลี่ยมีค่าน้อย ระยะทางที่อะตอมของก๊าซฮีเลียมจะชนกับอะตอมของก๊าซนีออนจะสั้นลงด้วยทำให้พลังงานที่อะตอมของก๊าซฮีเลียมจะถ่ายเทให้อะตอมของก๊าซนีออนน้อยลงทำให้มีอะตอมและนีออนที่สถานะกระตุ้นน้อย กำลังของเลเซอร์จึงลดลงเมื่อความดันสูงขึ้น พิจารณาอะตอมของก๊าซนีออน เมื่อระยะปลอดการชนเฉลี่ยมีค่าน้อย อะตอมของนีออนจะเคลื่อนที่ด้วยระยะทางสั้นๆ ทำให้โอกาสที่อะตอมของนีออนจะชนผนังหลอด

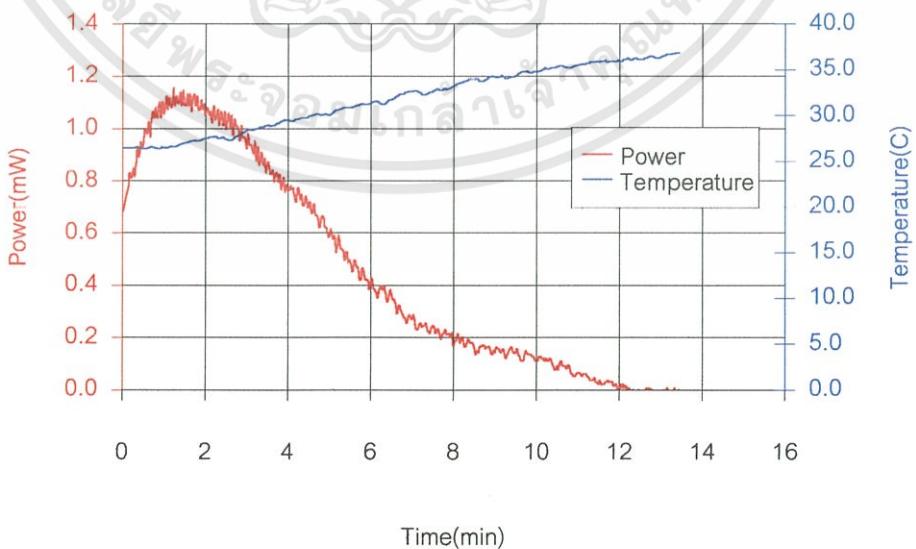
จะมีค่าลดลง เมื่อโอกาสดังกล่าวลดลงจำนวนอะตอมของนีออนที่สถานะพื้นจะมีจำนวนน้อยลง ส่งผลให้จำนวนอะตอมที่สถานะกระตุ้นน้อยลงไปด้วย กำลังของเลเซอร์จึงลดลงเมื่อความดันรวมมีค่าสูงขึ้น

ดังนั้นจึงมีความดันรวมในช่วงที่เหมาะสมเพียงช่วงเดียวที่ทำให้ระยะปลดการชนเฉลี่ยของก๊าซฮีเลียมมีค่าพอเหมาะที่จะชนอะตอมของก๊าซนีออนแล้วถ่ายเทพลังงานให้ทั้งหมดและมีค่าพอเหมาะสำหรับจำนวนอะตอมของก๊าซนีออนที่จะชนผนังของหลอดเลเซอร์ แล้วลดระดับพลังงานลงสู่สถานะพื้นได้เป็นจำนวนมากส่งผลให้จำนวนอะตอมของก๊าซนีออนที่สถานะกระตุ้นมีจำนวนมากตามไปด้วยเลเซอร์ที่เกิดขึ้นที่ความดันนี้จึงมีกำลังสูงสุด

จากการทดลองพบว่าในแต่ละอัตราส่วนจะมีค่าความดันเพียงช่วงเดียวที่ทำให้เลเซอร์มีกำลังสูงสุด ดังนั้นในแต่ละอัตราส่วนจะมีระยะปลดการชนเฉลี่ยที่พอเหมาะของก๊าซฮีเลียมและก๊าซนีออนของแต่ละอัตราส่วนและจะพบว่าที่อัตราส่วน 12:1 ที่ความดันรวม 2.4 มิลลิบาร์ เลเซอร์จะมีกำลังสูงสุด

4.1.2 การศึกษาเสถียรภาพของเลเซอร์

จากการทดลองในตอนต้นพบว่ากำลังของเลเซอร์ที่ได้จะลดลงอย่างรวดเร็วและหายไปเป็นเวลาประมาณ 10 นาที ทุกๆ ครั้งที่ทำการทดลองจะได้ผลเป็นเช่นนี้ จึงเริ่มทำการทดลองใหม่โดยจะศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่มีผลต่อเสถียรภาพของเลเซอร์ด้วย วิธีทดลองทำโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ไปแตะที่บริเวณขั้วลบของหลอดเลเซอร์โดยคิดว่าขั้วไฟฟ้าที่สัมผัสกับก๊าซและก๊าซที่อยู่ภายในหลอดมีอุณหภูมิเท่ากัน จากการสังเกตพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น กำลังของเลเซอร์จะลดลงอย่างรวดเร็วดังรูป 4.12

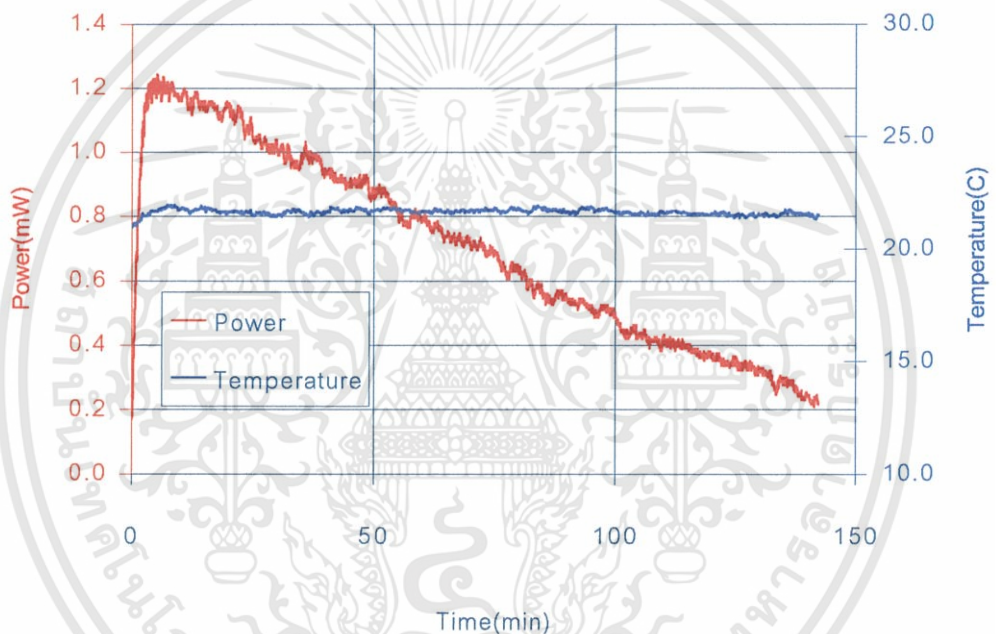


รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและกำลังของเลเซอร์เมื่อไม่เปิดพัลคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

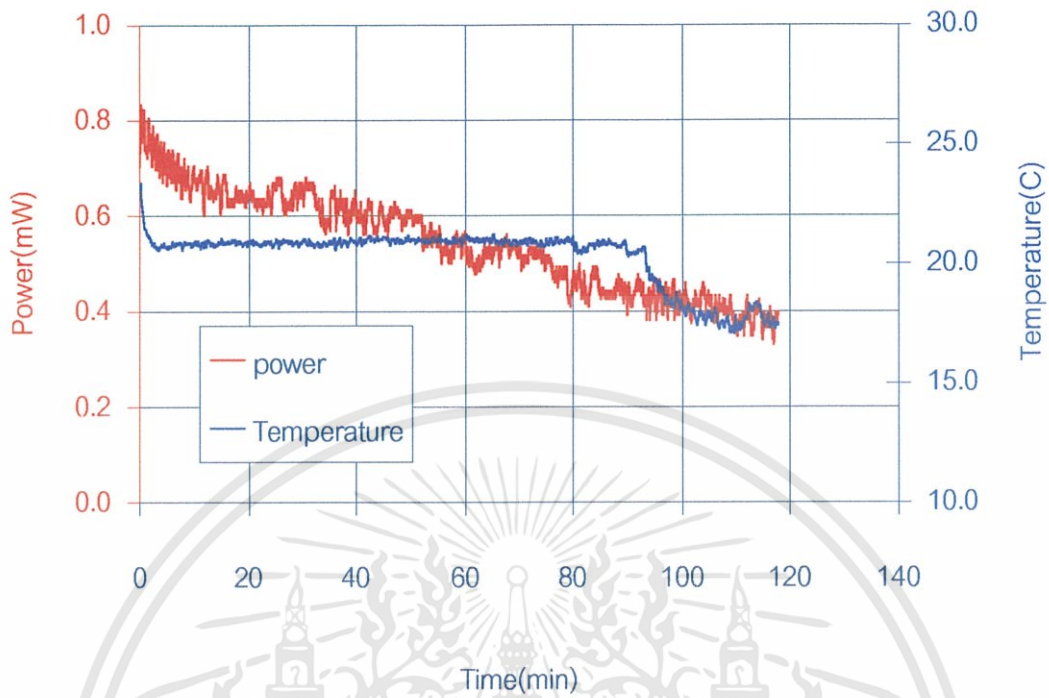
แต่เมื่อนำพัลลคมขนาดเล็กลงมาเป่าบริเวณหัวลวดของหลอดเลเซอร์พบว่ากำลังของเลเซอร์กลับเพิ่มขึ้นมาอีกในขณะที่อุณหภูมิลดลงจนคงที่ เลเซอร์จะมีเสถียรภาพมากขึ้น กล่าวคือเลเซอร์จะยังคงอยู่ได้เกินกว่า 2 ชั่วโมง แต่กำลังของเลเซอร์จะค่อย ๆ ลดลงอย่างช้า ๆ ดังนั้นในการทดลองศึกษาเสถียรภาพของเลเซอร์นี้จะใช้พัลลคมเป่าบริเวณหัวลวดของหลอดเลเซอร์ด้วยเพื่อทำให้เลเซอร์อยู่ได้นานขึ้นและในการทดลองนี้ค่าความดันรวมที่ทำให้เลเซอร์มีกำลังสูงสุดจะถูกนำกลับมาใช้อีกครั้งหนึ่ง การวัดกำลังนี้จะใช้เวลาวัดประมาณ 2 ชั่วโมง ในการนี้จะวัดอุณหภูมิไปพร้อมกันด้วยเพื่อสังเกตผลของอุณหภูมิที่มีต่อกำลังของเลเซอร์ ดังผลการทดลองต่อไปนี้

4.1.2.1 เสถียรภาพของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 5:1 ความดันรวม 2.1 มิลลิบาร์



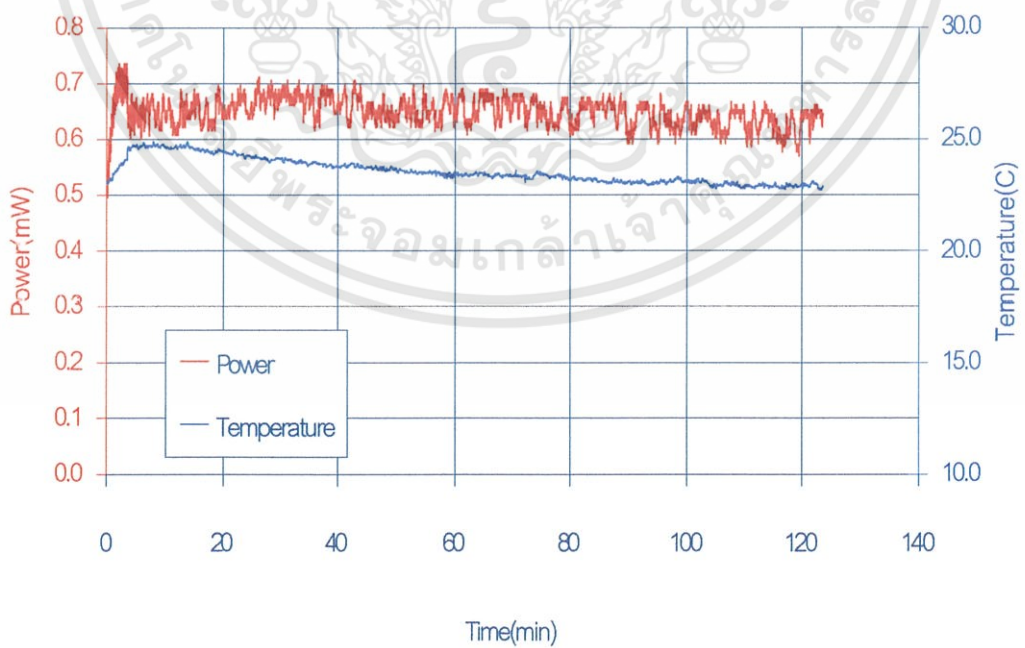
รูปที่ 4.13 เสถียรภาพของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 5:1 ความดันรวม 2.1 มิลลิบาร์

4.1.2.2 สถิติรูปภาพของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 6:1 ความดันรวม 2.1 มิลลิบาร์



รูปที่ 4.14 สถิติรูปภาพของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 6:1 ความดันรวม 2.1 มิลลิบาร์

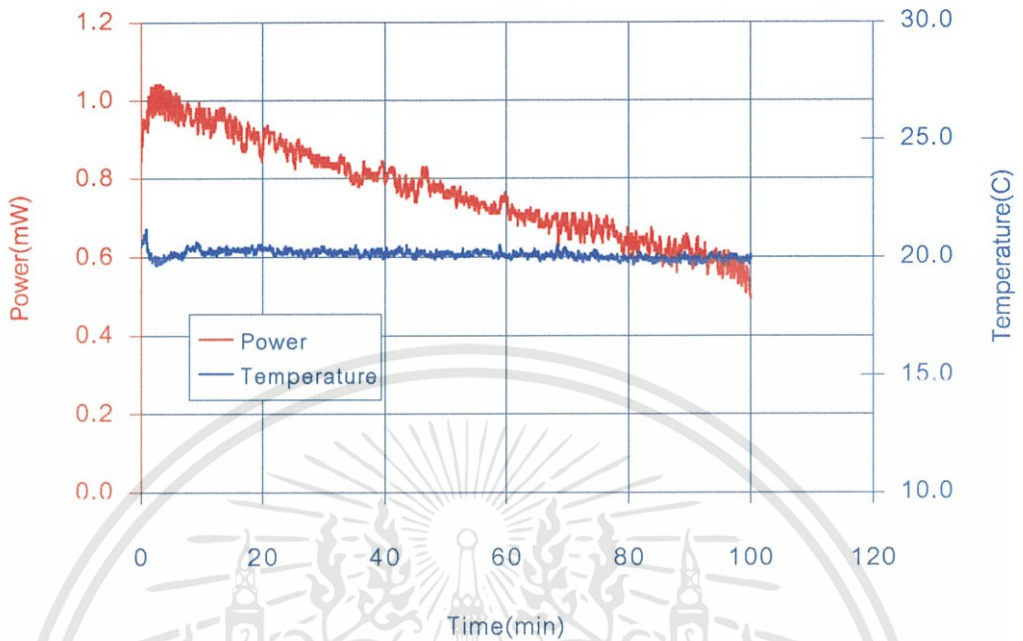
4.1.2.3 สถิติรูปภาพของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 7:1 ความดันรวม 2.2 มิลลิบาร์



รูปที่ 4.15 สถิติรูปภาพของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 7:1 ความดันรวม 2.2 มิลลิบาร์

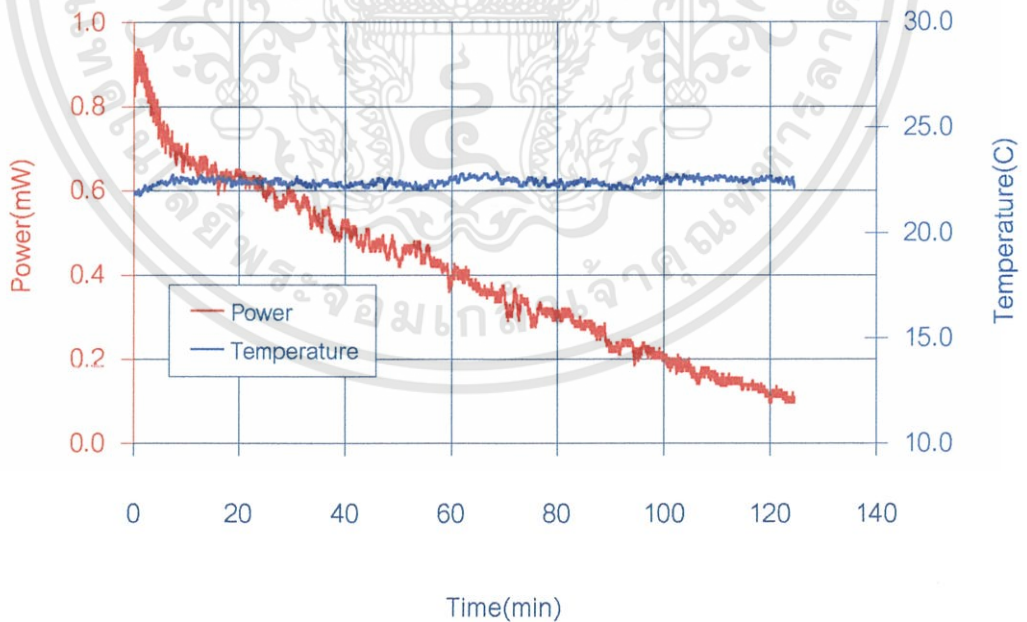
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.4 สถิติสภาพของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 8:1 ความดันรวม 2.2 มิลลิบาร์



รูปที่ 4.16 สถิติสภาพของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 8:1 ความดันรวม 2.2 มิลลิบาร์

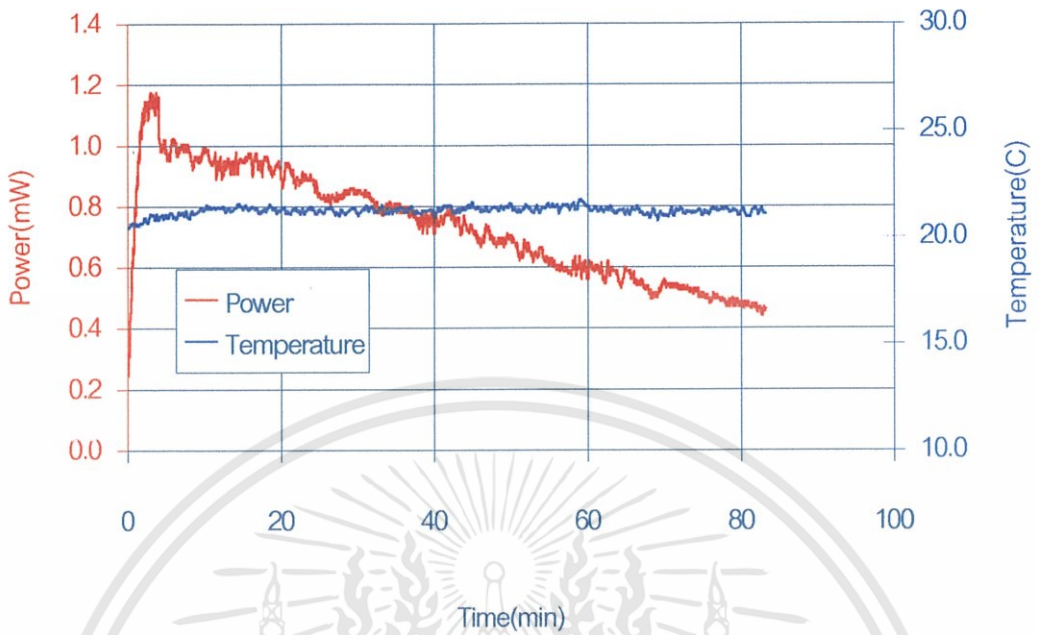
4.1.2.5 สถิติสภาพของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 10:1 ความดันรวม 2.3 มิลลิบาร์



รูปที่ 4.17 สถิติสภาพของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 10:1 ความดันรวม 2.3 มิลลิบาร์

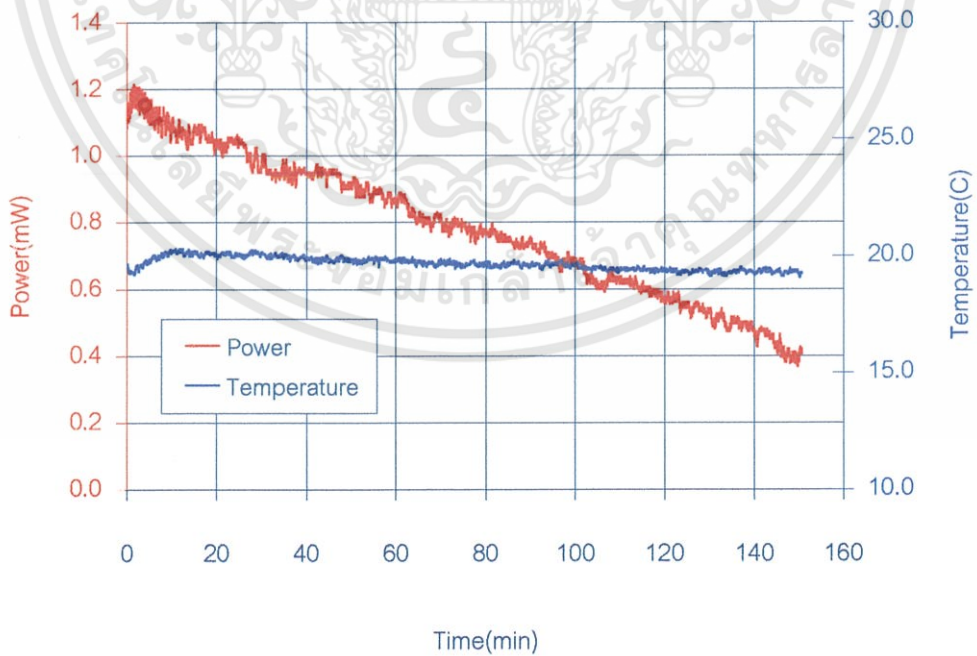
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.6 เสถียรภาพของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 12:1 ความดันรวม 2.4 มิลลิบาร์



รูปที่ 4.18 เสถียรภาพของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 12:1 ความดันรวม 2.4 มิลลิบาร์

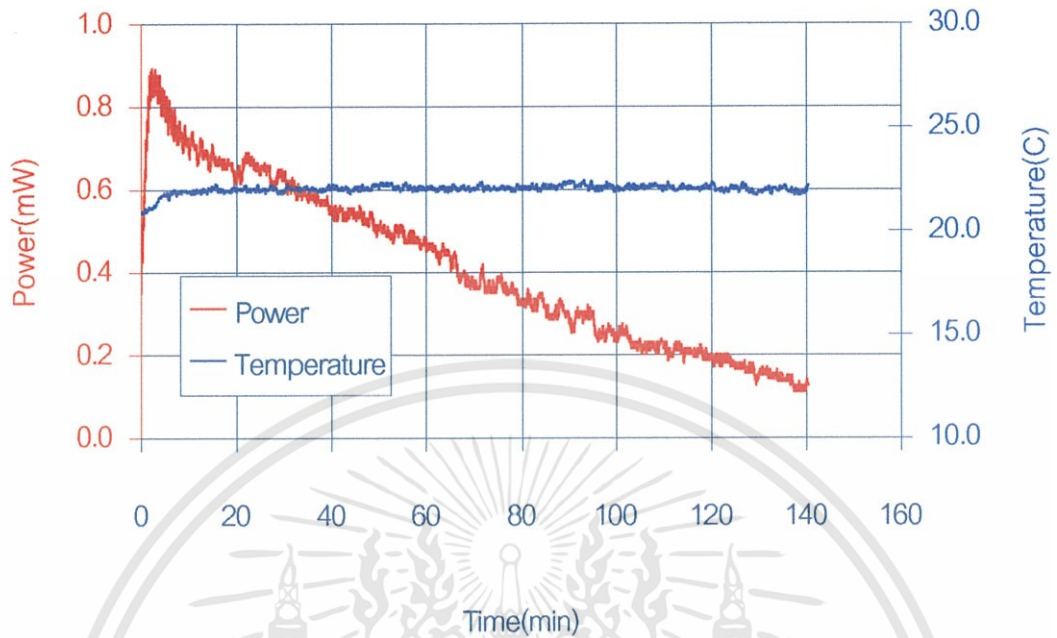
4.1.2.7 เสถียรภาพของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 14:1 ความดันรวม 2.6 มิลลิบาร์



รูปที่ 4.19 เสถียรภาพของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 14:1 ความดันรวม 2.6 มิลลิบาร์

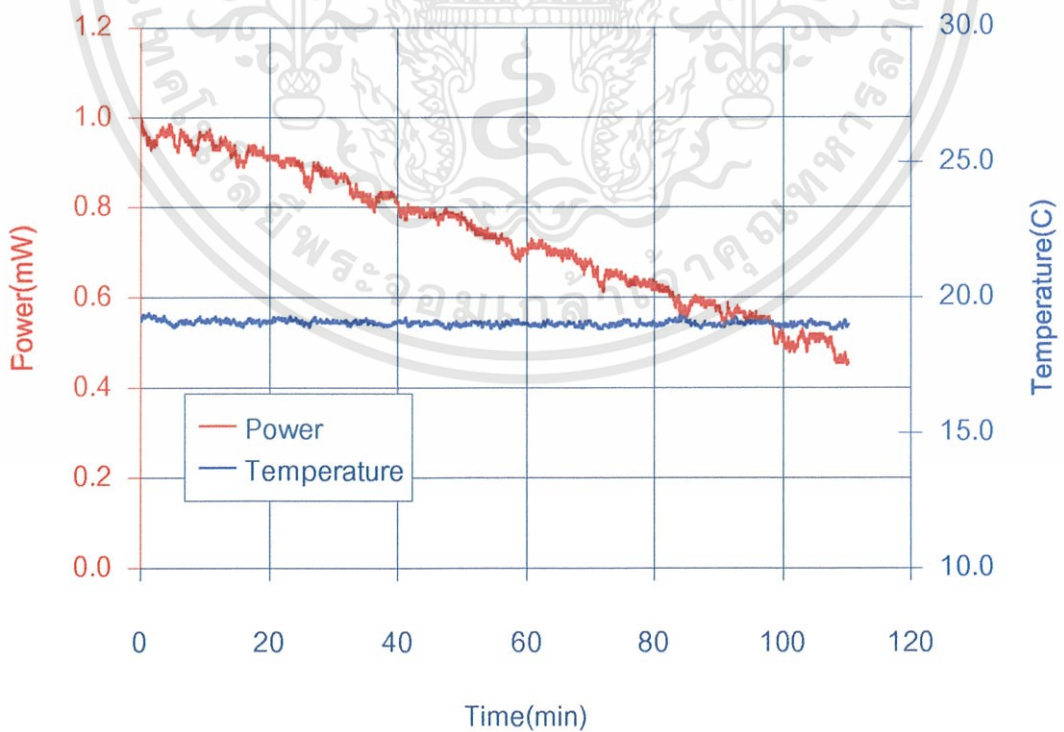
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.8 เสถียรภาพของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 16:1 ความดันรวม 2.7 มิลลิบาร์



รูปที่ 4.20 เสถียรภาพของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 16:1 ความดันรวม 2.7 มิลลิบาร์

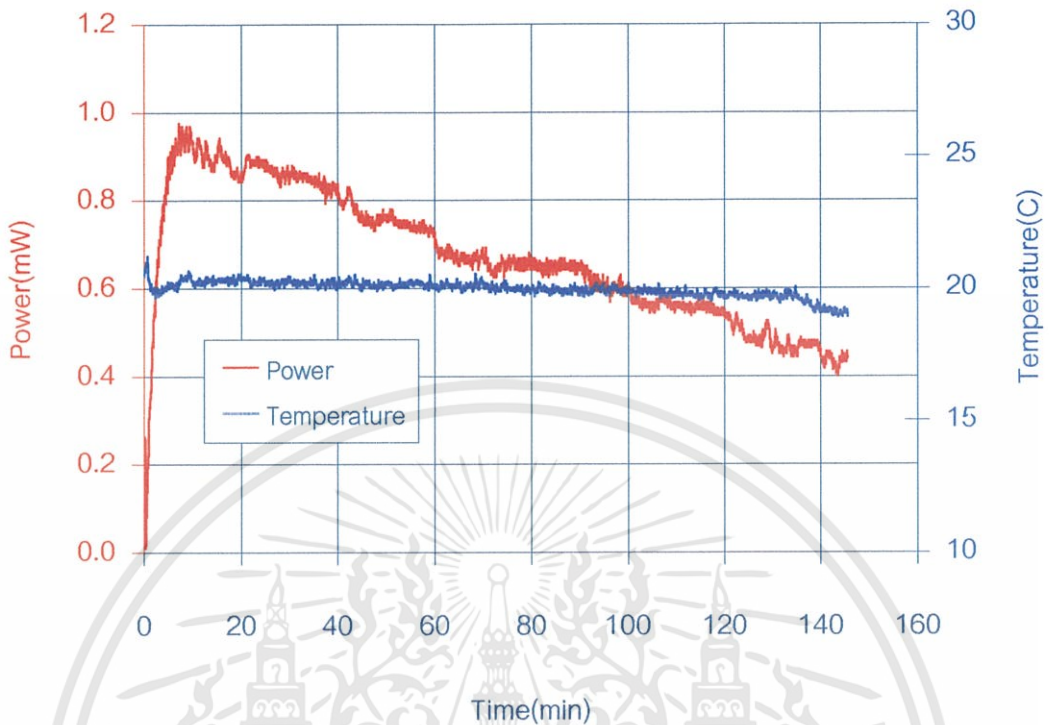
4.1.2.9 เสถียรภาพของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 18:1 ความดันรวม 2.8 มิลลิบาร์



รูปที่ 4.21 เสถียรภาพของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 18:1 ความดันรวม 2.8 มิลลิบาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

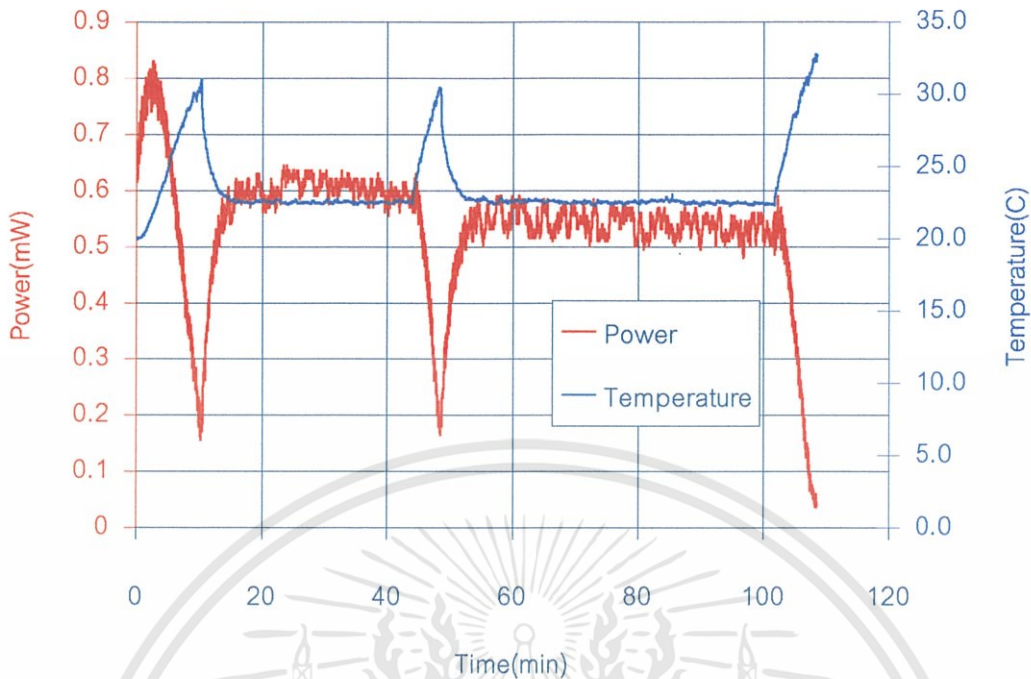
4.1.2.10 เสถียรภาพของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 20:1 ความดันรวม 2.9 มิลลิบาร์



รูปที่ 4.22 เสถียรภาพของเลเซอร์ที่อัตราส่วน 20:1 ความดันรวม 2.9 มิลลิบาร์

จากการศึกษาเสถียรภาพของเลเซอร์ เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 2 ชั่วโมง พบว่าที่อัตราส่วน 7:1 เลเซอร์จะมีเสถียรภาพดีที่สุดที่กำลังประมาณ 0.70 มิลลิวัตต์ (mW) ที่ความดันรวม 2.2 มิลลิบาร์ จากรูปที่ 4.15 จะสังเกตเห็นว่ากำลังของเลเซอร์จะไม่ลดลงเลยตลอด 2 ชั่วโมง แต่จากการทดลองตอนแรกกำลังสูงสุดของเลเซอร์ไม่ใช่ที่อัตราส่วน 7:1 แต่เป็นอัตราส่วน 12:1 มีกำลังประมาณ 1.2 มิลลิวัตต์ ที่ความดันรวม 2.4 มิลลิบาร์ แต่ที่อัตราส่วน 12:1 นี้ เลเซอร์ไม่มีเสถียรภาพที่ดี กล่าวคือกำลังจะตกลงอย่างช้าๆ ตามเวลา ดังรูปที่ 4.18 ที่อัตราส่วน 5:1 6:1 8:1 10:1 14:1 16:1 18:1 และ 20:1 จะเป็นเช่นเดียวกับอัตราส่วน 12:1 คือกำลังจะตกลงอย่างช้าๆตามเวลาเช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 4.13 4.14 4.16 4.17 4.19 4.20 4.21 และ 4.22 ตามลำดับ

จากการศึกษาเรื่องเสถียรภาพของเลเซอร์นี้ดังที่กล่าวแล้วว่าจำเป็นต้องใช้พัคลมเป่าบริเวณหัวลบของหลอดเลเซอร์เพื่อสังเกตผลของอุณหภูมิที่มีต่อกำลังของเลเซอร์ จึงทำการทดลองโดยการเปิดและปิดพัคลม การทดลองนี้จะใช้อัตราส่วนของก๊าซซีเลียมและนีออนเป็น 7:1 ที่ความดันรวม 2.2 มิลลิบาร์ เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่มีเสถียรภาพที่สุด ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.23

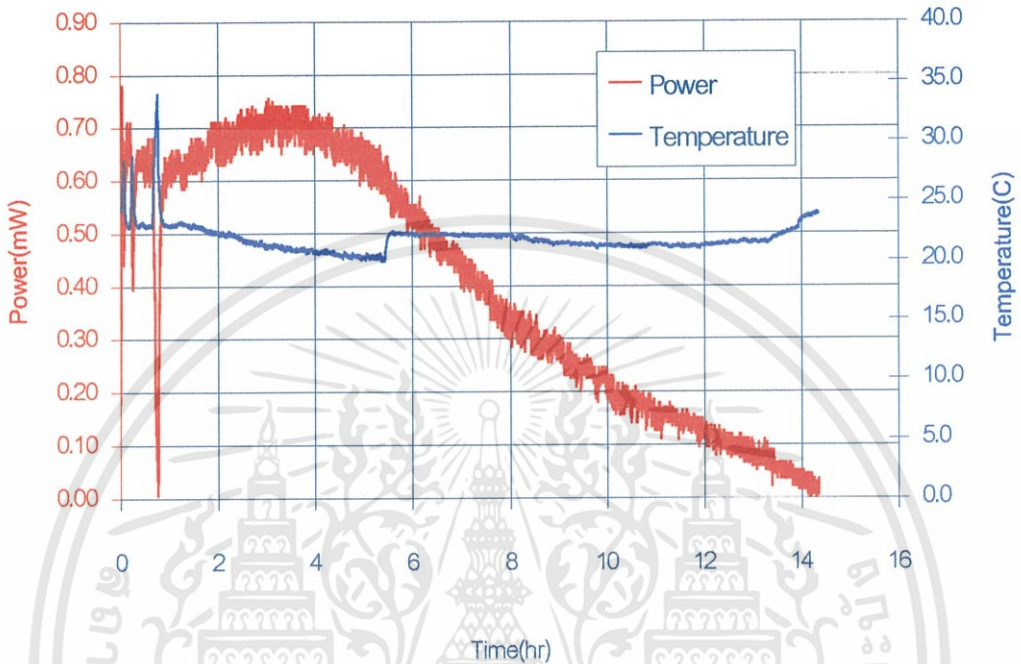


รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและกำลังของแสงเลเซอร์

จากรูป 4.23 พบว่าเมื่อปิดพัลส์กำลังของเลเซอร์จะลดลงและอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อเปิดพัลส์อีกครั้งหนึ่งกำลังของเลเซอร์จะเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิจะลดลง ทำการทดลองซ้ำอีกครั้งผลที่ได้ยังคงเป็นลักษณะเดิม

การทดลองนี้สามารถอธิบายได้ด้วยระยะปลดการชนเฉลี่ย เนื่องจากการทดลองนี้ควบคุมความดันรวม (ในการทดลองนี้ใช้อัตราส่วนของก๊าซเป็น 7:1 ความดันรวม 2.2 mbar ซึ่งเลเซอร์มีเสถียรภาพที่สุด) ดังนั้นจากสมการที่ 4.1 ระยะปลดการชนเฉลี่ยจะแปรผันกับอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ระยะปลดการชนเฉลี่ยมากขึ้นด้วย ทำให้การชนกันของก๊าซฮีเลียมและก๊าซนีออนมีโอกาสชนกันน้อยส่งผลให้กำลังของเลเซอร์ลดลง เมื่อเปิดพัลส์อุณหภูมิจะลดลงทำให้ระยะปลดการชนเฉลี่ยลดลงด้วยทำให้โอกาสการชนกันของก๊าซฮีเลียมและก๊าซนีออนมีมากขึ้น กำลังของเลเซอร์จึงเพิ่มขึ้นมาอีกครั้ง การที่กำลังของเลเซอร์ลดลงนอกจากผลของอุณหภูมิแล้วยังมีสาเหตุอีกหลายประการ เช่น เนื่องจากหลอดนี้ใช้กาวในการเชื่อมต่อก๊าซเข้ากับหลอด ดังนั้นอาจมีการรั่วของอากาศผ่านเข้ามาทางรอยต่อนี้หรือมีอีกสาเหตุคือ ก๊าซที่ฝังตัวอยู่ในผิวของหลอดเลเซอร์เมื่อหลอดเลเซอร์ร้อนขึ้นก๊าซที่ฝังตัวอยู่จะระเหยออกมาทำให้อัตราส่วนผสมของก๊าซผิดไปเป็นสาเหตุให้เลเซอร์หยุดการทำงานลงได้ จึงได้ทำการทดลองซ้ำอีกครั้งโดยใช้อัตราส่วนและความดันเดิมแต่ครั้งนี้จะเปิดพัลส์ไว้ตลอดเวลา จากผลการทดลองปรากฏว่าอุณหภูมิเกือบจะคงที่แต่กำลังของเลเซอร์ยังคงลดลงอย่างช้าๆตามเวลาและจะหยุดทำงานเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 14 ชั่วโมง ผลการ

ทดลองแสดงในรูปที่ 4.24 ดังนั้นผลของอุณหภูมิจึงไม่ได้เป็นสาเหตุเดียวที่ทำให้เลเซอร์หยุดทำงาน ยังมีสาเหตุอื่นอีกคงที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น



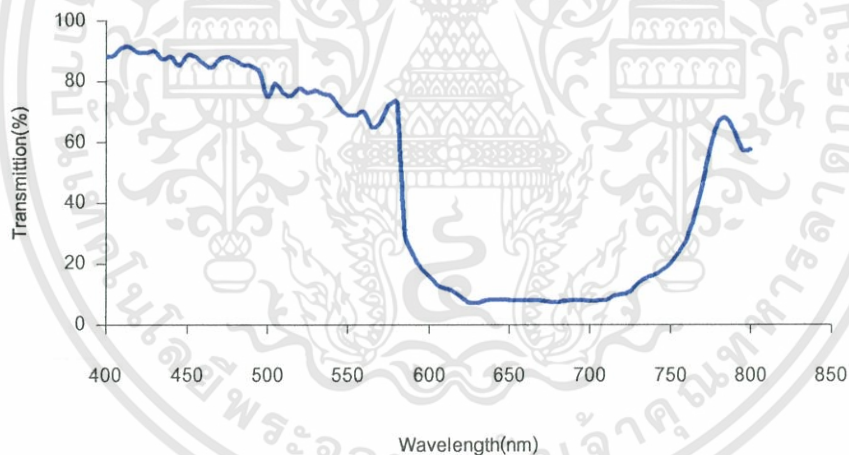
รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและกำลังของเลเซอร์เมื่อทำการวัดจนกระทั่งเลเซอร์หยุดทำงาน

4.2 การศึกษาการเกิดแสงเลเซอร์ฮีเลียมนีออนโดยใช้หลอดเลเซอร์ชนิดกระจกภายนอก (External Mirror)

4.2.1 ศึกษาการแปรค่าดังของแสงเลเซอร์เมื่อเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของกระจกเลเซอร์ต่างกัน

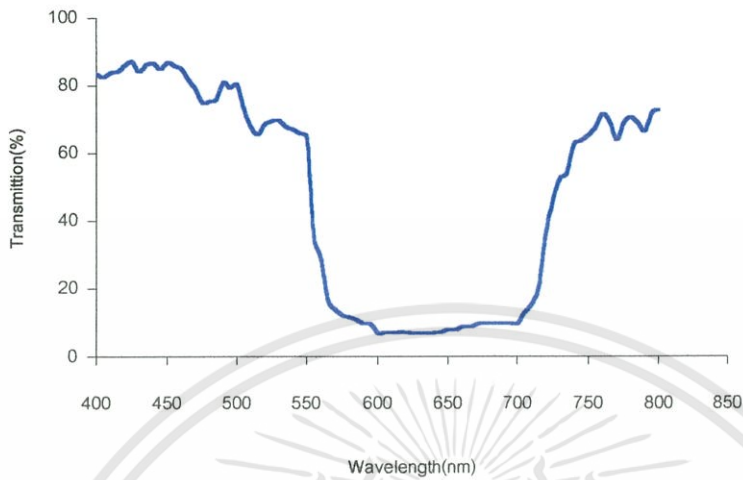
การศึกษานี้จะใช้กระจกหน้าต่างทั้งหมด 7 บาน แต่กระจกทั้งหมดนี้ไม่ทราบค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงจึงต้องมีการหาค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงก่อนโดยวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer ของบริษัท Jenway รุ่น UV/VIS 6405 ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สจล. แต่ผลการวัดด้วยเครื่องดังกล่าวจะได้ค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของแสงจึงนำค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของแสงที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร ไปลบจาก 100 จึงจะได้เปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของกระจก เมื่อทำการวัดกระจกทั้ง 7 บาน พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงต่างกันดังนี้

หมายเลข 1 เปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสง 92.5 %



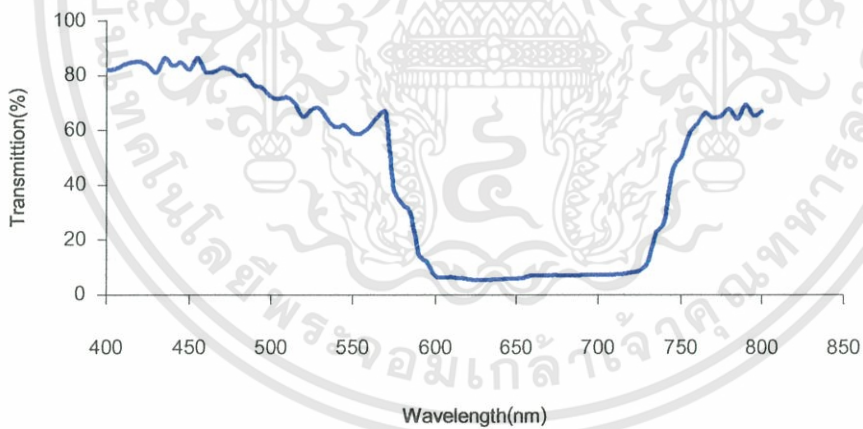
รูปที่ 4.25 เปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของกระจกหมายเลข 1 ที่ความยาวคลื่นต่างๆ

หมายเลข 2 เปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสง 93.3 %



รูปที่ 4.26 เปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของกระจกหมายเลข 2 ที่ความยาวคลื่นต่างๆ

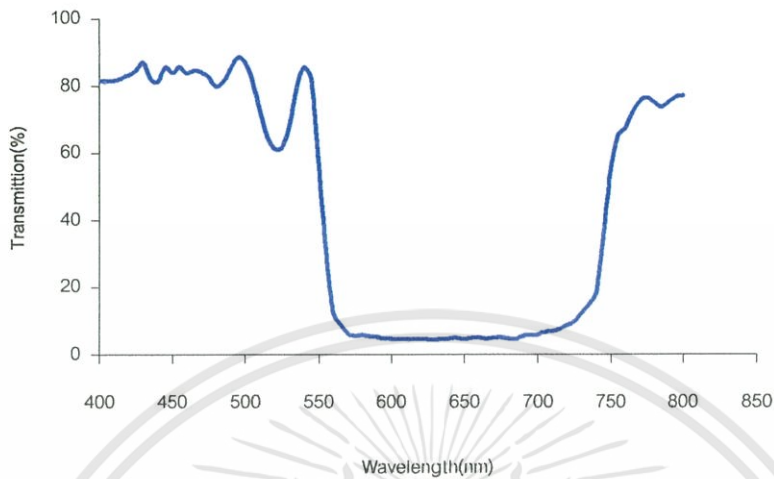
หมายเลข 3 เปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสง 94.5 %



รูปที่ 4.27 เปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของกระจกหมายเลข 3 ที่ความยาวคลื่นต่างๆ

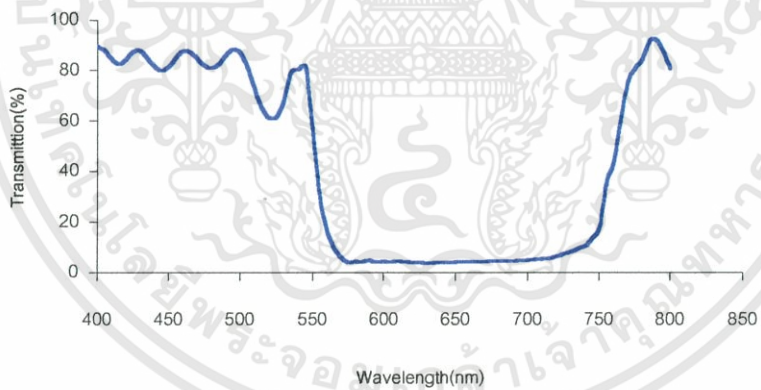
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเลข 4 เปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงประมาณ 95.6 %



รูปที่ 4.28 เปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของกระจกหมายเลข 4 ที่ความยาวคลื่นต่างๆ

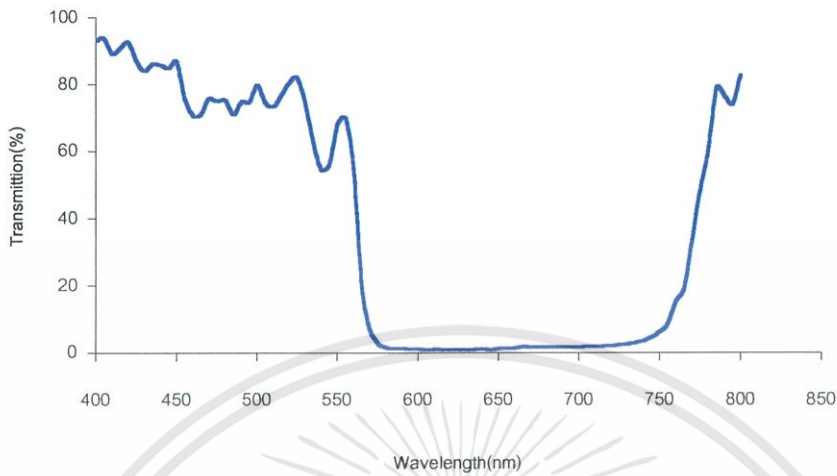
หมายเลข 5 เปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสง 96.1 %



รูปที่ 4.29 เปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของกระจกหมายเลข 5 ที่ความยาวคลื่นต่างๆ

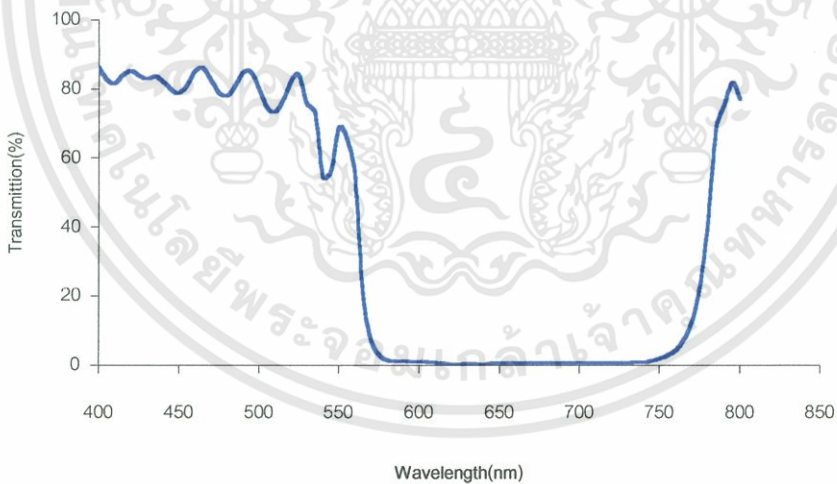
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเลข 6 เปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสง 99.0



รูปที่ 4.30 เปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของกระจกหมายเลข 6 ที่ความยาวคลื่นต่างๆ

หมายเลข 7 เปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสง 99.7 %



รูปที่ 4.31 เปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของกระจกหมายเลข 7 ที่ความยาวคลื่นต่างๆ

จากรูปที่ 4.25-4.31 จะสังเกตเห็นว่ากระจกทั้ง 7 บาน จะสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่นในช่วงที่ตามองเห็นแต่จะสะท้อนแสงในย่านของสีแดงได้ดีที่สุดส่วนการสะท้อนแสงในย่านอินฟราเรดสะท้อนแสงจะลดลงและเกือบไม่สะท้อนแสงเลยที่ย่านอินฟราเรดและอัลตราไวโอเล็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษากการแปรกำลังของเลเซอร์วิธีการทดลองมีดังนี้

1. เลือกกระจกหมายเลข 1 ใช้อัตราส่วนของกำลังเป็น 7:1 ที่ความดัน 2.1 มิลลิบาร์ เนื่องจากเป็นอัตราส่วนและความดันที่เลเซอร์มีเสถียรภาพดีที่สุดจากการศึกษาในตอนแรก
2. วัดกำลังของแสงเลเซอร์ที่ออกมาด้วยชุดอุปกรณ์ในหัวข้อ 4.1
3. ทดลองซ้ำอีก 5 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย
4. ทดลองซ้ำข้อ 1-3 แต่เปลี่ยนกระจกหน้าเป็นหมายเลข 2-7
5. วิเคราะห์ผลการทดลองที่เกิดขึ้น

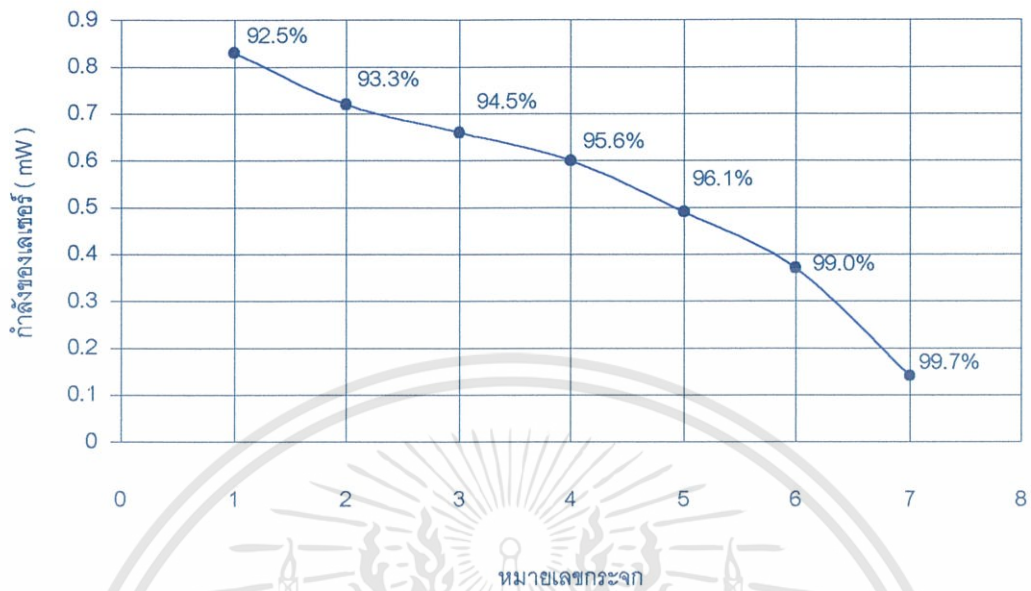
ผลการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถเขียนเป็นตารางได้ดังนี้

ตารางที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของแสงเลเซอร์และค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของกระจก

หมายเลขของกระจก	กำลังเฉลี่ย (mW)
1 (92.5%)	0.83
2 (93.3%)	0.72
3 (94.5%)	0.66
4 (95.6%)	0.60
5 (96.1%)	0.49
6 (99.0%)	0.37
7 (99.7%)	0.14

จากตารางที่ 4.12 นำข้อมูลมาเขียนกราฟจะให้ความสัมพันธ์ดังนี้



รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของแสงเลเซอร์และค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของกระจก

จากรูปที่ 4.32 สามารถอธิบายได้ว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจกมีมากขึ้นกำลังของเลเซอร์ที่ออกมาจะมีค่าลดลง เนื่องจากกระจกที่ใช้เป็นกระจกที่เคลือบด้วยสารไดอิเล็กทริกให้สะท้อนแสงในย่านที่ตามองเห็นแต่จะสะท้อนแสงสีแดงได้ดีสังเกตได้จากรูปที่ 4.25-4.31 ค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงในย่านสีแดงจะมีค่าน้อยกว่าย่านอื่นซึ่งเมื่อนำมาลบด้วย 100 แล้วจะได้ค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงมากกว่าย่านอื่น เลเซอร์ฮีเลียม-นีออนที่มีความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร (nm) จะอยู่ในย่านแสงสีแดงด้วย ดังนั้นเมื่อเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงมีค่ามากขึ้นกระจกซึ่งสะท้อนค่าความยาวคลื่นย่านสีแดงได้ดีจะสะท้อนแสงกลับเข้าไปในตัวต้นฟุ้งเชิงทัศนมากขึ้นตามไปด้วยจึงทำให้มีแสงเลเซอร์ออกมาน้อยเมื่อเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงมีค่ามาก จากเหตุผลนี้จึงทำให้กำลังของแสงเลเซอร์ลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของกระจกมากขึ้น

4.2.2 ศึกษาการลู่ออกของแสงเลเซอร์ที่โหมด TEM₀₀ และ Multimode

การศึกษาในหัวนี้จะศึกษาการลู่ออกของลำแสงเลเซอร์ที่สามารถปรับค่าโหมดต่างๆ ได้ โดยจะศึกษาโหมด TEM₀₀ และ Multimode จากนั้นจะเปรียบเทียบโหมด TEM₀₀ ระหว่างแสงเลเซอร์ที่สร้างขึ้นกับหลอดที่ผลิตจากต่างประเทศของบริษัท Melles Griot รุ่น 1108P-3425 ให้กำลังของแสงเลเซอร์ 1 มิลลิวัตต์ ซึ่งมีกำลังใกล้เคียงกับแสงเลเซอร์ที่สร้างขึ้น ขั้นตอนการทดลองมีดังต่อไปนี้

- 1) ใช้กระจกเลเซอร์หมายเลข 1 จากตอนที่แล้วเนื่องจากให้กำลังของแสงเลเซอร์ออกมาสูงสุด ใช้อัตราส่วนของก๊าซเป็น 7:1 ที่ความดัน 2.1 มิลลิบาร์
- 2) ปรับกระจกเลเซอร์ให้แสงเลเซอร์มีโหมด TEM₀₀ ลักษณะของแสงที่ตกกระทบฉากจะมีลักษณะกลมไม่มีการบิดเบี้ยว
- 3) นำฉากที่ติดกระดาษกราฟไปรับแสงเพื่อใช้วัดค่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของแสงเลเซอร์ (กระดาษกราฟจะมีเส้นกราฟกว้าง 1 มิลลิเมตร) และเพื่อให้การวัดละเอียดยิ่งขึ้นจะใช้เวอร์เนียร์ช่วยในการวัดด้วย
- 4) เลื่อนฉากรับภาพไปครั้งละ 10 เซนติเมตร ตั้งแต่ 10 ถึง 200 เซนติเมตร
- 5) นำค่าที่ได้มาเขียนกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของฉากและขนาดของลำแสงเลเซอร์สี่เหลี่ยม-น็อน
- 6) คำนวณหาค่าการลู่ออกของลำแสงเลเซอร์ (Beam Divergence) จากสมการ

$$\tan \theta = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{r}{D} \quad (4.4)$$

เมื่อ r คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของลำแสง และ D คือ ระยะห่างของฉาก

$$\text{จากสมการเส้นตรง } y = mx + C \quad (4.5)$$

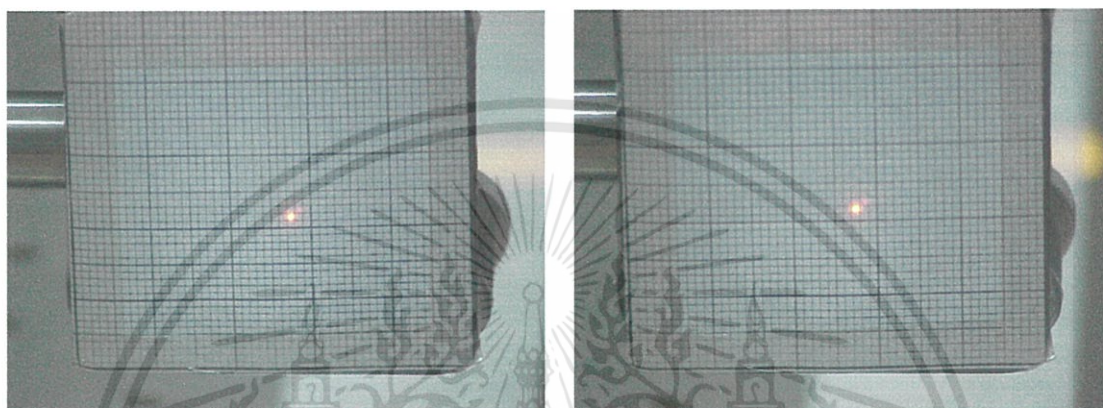
เมื่อ m คือ ความชันของกราฟ $= \frac{\Delta y}{\Delta x}$ และ C คือ จุดตัดแกน y

เปรียบเทียบสมการที่ (4.4) และ (4.5) สามารถหาค่าการลู่ออกของแสง(มุมเต็ม full angle)(θ) ได้ดังสมการ (4.6)

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{r}{D}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right) = \tan^{-1}(m) \quad (4.6)$$

- 7) ทำการทดลองเหมือนข้อ 1-6 แต่ปรับเลเซอร์เป็น Multimode
- 8) ทำการทดลองเหมือนข้อ 1-6 แต่ใช้หลอดที่ผลิตจากต่างประเทศ
- 9) วิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้

ผลการทดลอง



ก) โหมด TEM_{00} ที่ระยะ 10 เซนติเมตร

ข) Multimode ที่ระยะ 10 เซนติเมตร



ค) โหมด TEM_{00} ที่ระยะ 200 เซนติเมตร

ง) Multimode ที่ระยะ 200 เซนติเมตร

รูปที่ 4.33 ภาพถ่ายแสดงขนาดของลำแสงที่ระยะทางต่างๆ

เมื่อปรับกระจกเลเซอร์ไปที่โหมด TEM_{00} พบว่าลำแสงเลเซอร์มีการลู่ออกแต่ไม่มากนัก เมื่อเทียบกับ Multimode ซึ่งจะมีการลู่ออกของลำแสงอย่างชัดเจนตั้งแต่เริ่มต้น ดังรูปที่ 4.33 ซึ่งเป็นภาพถ่ายเปรียบเทียบการลู่ออกของลำแสงเลเซอร์ของโหมด TEM_{00} และ Multimode ที่ระยะ 10 เซนติเมตร และ 200 เซนติเมตร ส่วนการเปรียบเทียบการลู่ออกของแสงที่โหมด TEM_{00} เมื่อเทียบกับหลอดที่ผลิตจากต่างประเทศนั้นพบว่ามีค่าการลู่ออกที่ใกล้เคียง ผลการวัดการลู่ออกของแสงจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงในตารางที่ 4.13 - 4.15 และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของฉากกับเส้นผ่าศูนย์กลางของลำแสงจะแสดงในรูปที่ 4.34-4.36

ตารางที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยขนาดของลำแสงเลเซอร์จากหลอดชนิดกระจกภายนอกที่โหมด TEM₀₀ ที่ระยะห่างของฉากตั้งแต่ 10-200 เซนติเมตร

ระยะห่างของฉาก (ซ.ม.)	ค่าเฉลี่ยของขนาดลำแสง (ม.ม.)
10	0.92
20	1.14
30	1.26
40	1.44
50	1.72
60	1.98
70	2.26
80	2.54
90	2.84
100	3.02
110	3.14
120	3.20
130	3.36
140	3.56
150	3.68
160	3.86
170	4.02
180	4.14
190	4.34
200	4.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยขนาดของลำแสงเลเซอร์จากหลอดชนิดกระจกภายนอกที่ Multimode ที่ระยะห่างของฉากตั้งแต่ 10-200 เซนติเมตร

ระยะห่างของฉาก (ซ.ม)	ค่าเฉลี่ยของขนาดลำแสง (ม.ม)
10	1.52
20	1.74
30	2.08
40	2.36
50	2.54
60	2.84
70	3.12
80	3.48
90	3.86
100	4.30
110	4.58
120	4.88
130	5.10
140	5.44
150	5.70
160	6.00
170	6.52
180	6.80
190	7.42
200	7.90

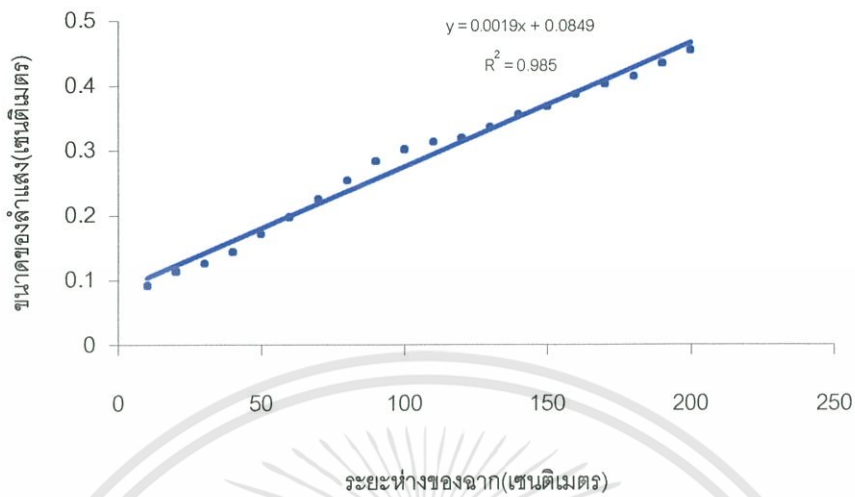
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยขนาดของลำแสงเลเซอร์จากหลอดที่ผลิตจากต่างประเทศที่โหมด TEM₀₀ ที่ระยะห่างของฉากตั้งแต่ 10-200 เซนติเมตร

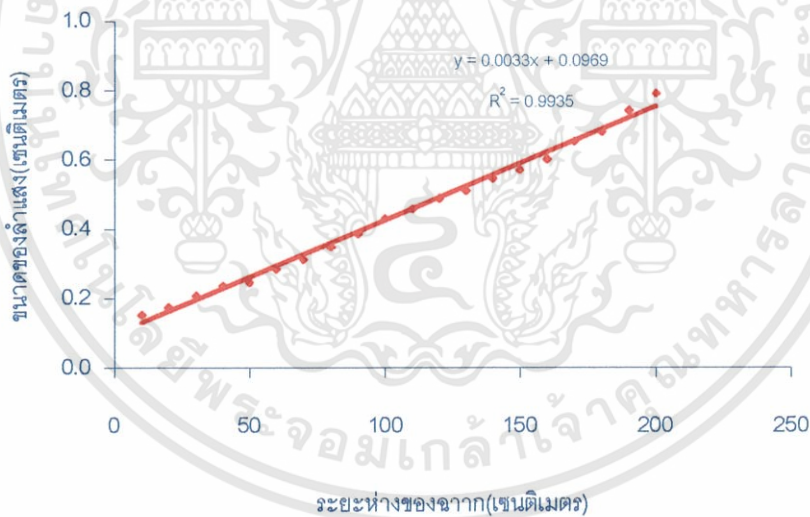
ระยะห่างของฉาก (ซ.ม)	ค่าเฉลี่ยของขนาดลำแสง (ม.ม)
10	0.88
20	1.04
30	1.14
40	1.38
50	1.56
60	1.76
70	1.86
80	2.04
90	2.16
100	2.38
110	2.56
120	2.78
130	3.06
140	3.24
150	3.38
160	3.64
170	3.86
180	4.04
190	4.24
200	4.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำข้อมูลในตารางที่ 4.13-4.15 มาเขียนกราฟได้ดังนี้



รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของลำแสงเลเซอร์และระยะห่างของฉากเมื่อปรับกระจกเป็นโหมด TEM₀₀ โดยใช้หลอดชนิดกระจกภายนอก



รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของลำแสงเลเซอร์และระยะห่างของฉากเมื่อปรับกระจกเป็น Multimode โดยใช้หลอดชนิดกระจกภายนอก

จากรูปที่ 4.34 สามารถหาค่าการถู้ออกของลำแสง(มุมเต็ม)ได้โดยคำนวณจากสมการที่ 4.6 เมื่อพิจารณาความชันของกราฟ (m) พบว่า $m = 0.0019$

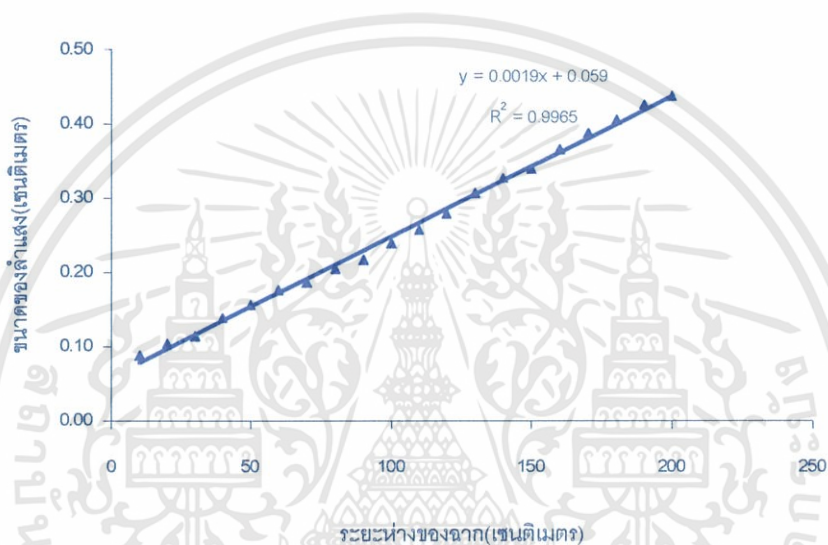
การถู้ออกของลำแสงมีค่าเท่ากับ $\theta = \tan^{-1}(0.0019)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 1.89 \text{ มิลลิเรเดียน(mrad)}$$

จากรูปที่ 4.35 สามารถหาค่าการลู่ออกของลำแสงได้โดยคำนวณจากสมการที่ 4.6 เมื่อพิจารณาความชันของกราฟ (m) พบว่า $m = 0.0033$

$$\begin{aligned} \text{การลู่ออกของลำแสงมีค่าเท่ากับ } \theta &= \tan^{-1}(0.0033) \\ &= 3.29 \text{ มิลลิเรเดียน(mrad)} \end{aligned}$$



รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของลำแสงเลเซอร์และระยะห่างของฉากเมื่อใช้หลอดเลเซอร์ที่ผลิตจากต่างประเทศที่มีโหมดเป็น TEM_{00}

จากรูปที่ 4.36 จะ ได้ความชันของกราฟเท่ากับ 0.0019 ดังนั้นการลู่ออกของแสงมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} \theta &= \tan^{-1}(0.0019) \\ &= 1.89 \text{ มิลลิเรเดียน} \end{aligned}$$

ค่า R^2 ที่แสดงในกราฟหมายถึงค่า Correlation ซึ่งเป็นค่าที่แสดงว่ากราฟที่นำมาใช้แทนข้อมูลนั้นมีความน่าเชื่อถือมากน้อยเพียงใด ยิ่งค่าเข้าใกล้ 1 มากเท่าใดกราฟจะแทนข้อมูลมากขึ้นเท่านั้น

4.2.3 การศึกษาโหมดตามขวาง (Transverse Mode) แบบต่างๆ

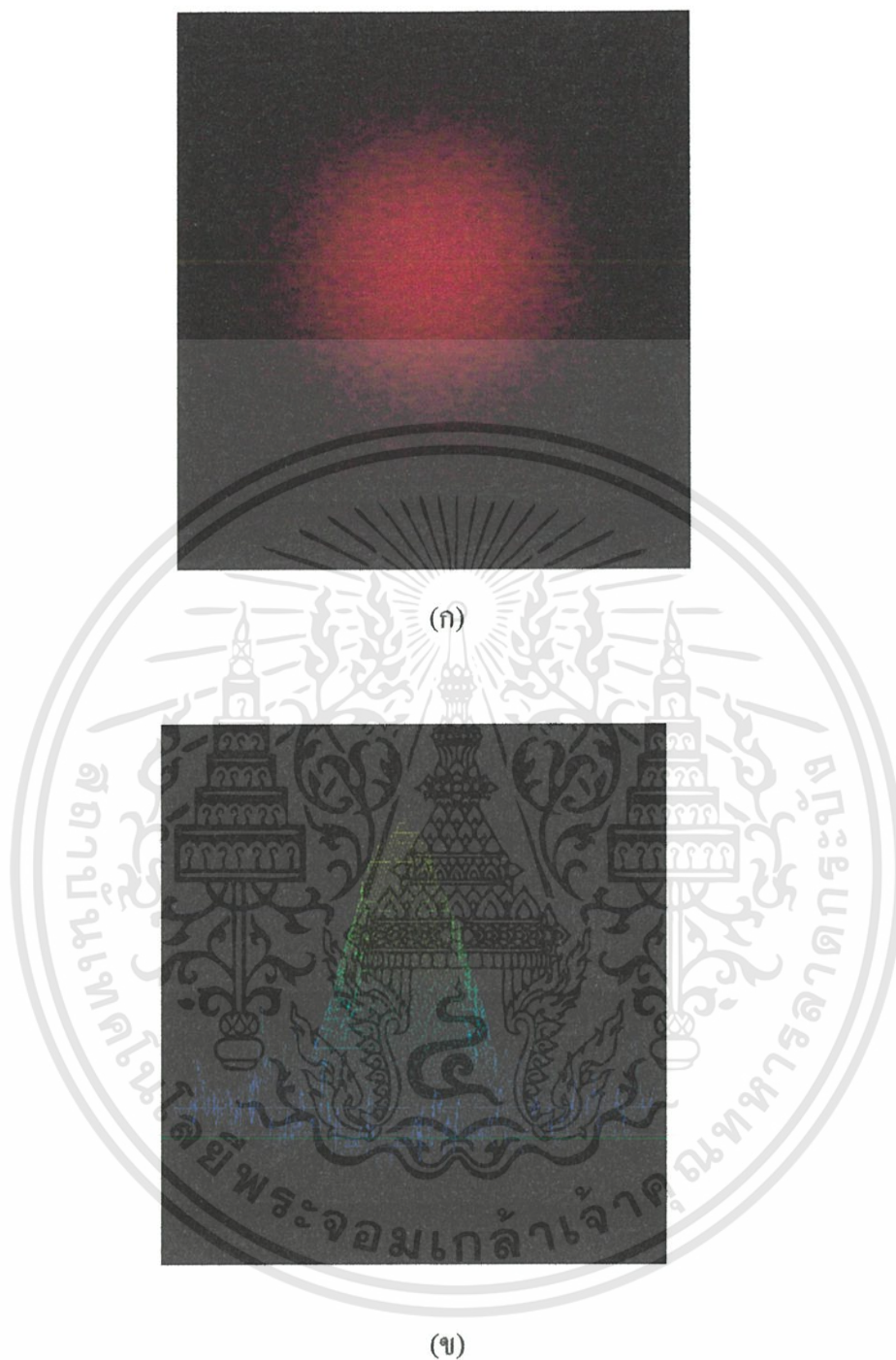
ในหัวข้อนี้จะเป็นการศึกษาโหมดตามขวางของเลเซอร์ โดยการปรับกระจกเลเซอร์ให้เกิดรูปแบบของโหมดตามขวางบนฉากรับภาพ มีวิธีการทดลองดังนี้

1. ใช้กระจกหมายเลข 1 เป็นกระจกหน้า ปรับอัตราส่วนของก๊าซฮีเลียมและนีออนเป็น 7:1 ที่ความดันรวม 2.1 มิลลิบาร์
2. เมื่อแสงเลเซอร์ออกมาแล้ว ปรับกระจกให้เกิด TEM_{00} ก่อน สังเกตลักษณะของโหมด TEM_{00}
3. ปรับกระจกให้เกิดโหมดหลายๆ รูปแบบ
4. ศึกษา รูปแบบของโหมดที่เกิดขึ้นและการกระจายความเข้มของแสงโดยใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นที่ห้องปฏิบัติการเลเซอร์และฟิสิกส์พื้นผิว ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สจล.
5. อธิบายผลการทดลอง

ผลการทดลอง

1) โหมด TEM_{00}

เมื่อปรับกระจกเลเซอร์เพื่อให้แสงเลเซอร์ที่ออกมามีโหมดเป็น TEM_{00} ลักษณะของแสงเลเซอร์จะเป็นจุดกลมเล็กๆ มีจุดสว่างที่สุดบริเวณตรงกลางและความสว่างจะลดลงเรื่อยๆ บริเวณขอบจะมีความสว่างน้อยที่สุด ดังรูปที่ 4.37



รูปที่ 4.37 ก) โหมด TEM_{00} ที่ปรากฏบนฉาก

ข) ลักษณะการกระจายความเข้มของแสงของโหมด TEM_{00} จากโปรแกรมระบบ Laser Beam Profiler ที่พัฒนาขึ้นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 2.23 เมื่อ $m = n = 0$ จะได้ $H_0(u) = 1$ ทั้งสองตัวและสมการของสนามไฟฟ้าที่ TEM_{00} จะเป็นแบบเกาส์เซียนดังสมการ [5]

$$E_{00}(x,y) = E_0 e^{-\rho^2/w^2} \quad (4.7)$$

สมการที่ 4.7 เมื่อนำมาเขียนกราฟจะได้กราฟการกระจายของสนามไฟฟ้าดังรูปที่ 4.38ก และเมื่อยกกำลังสองสมการ 4.7 จะได้กราฟความเข้มของแสงเลเซอร์ดังรูปที่ 4.38ข [11]

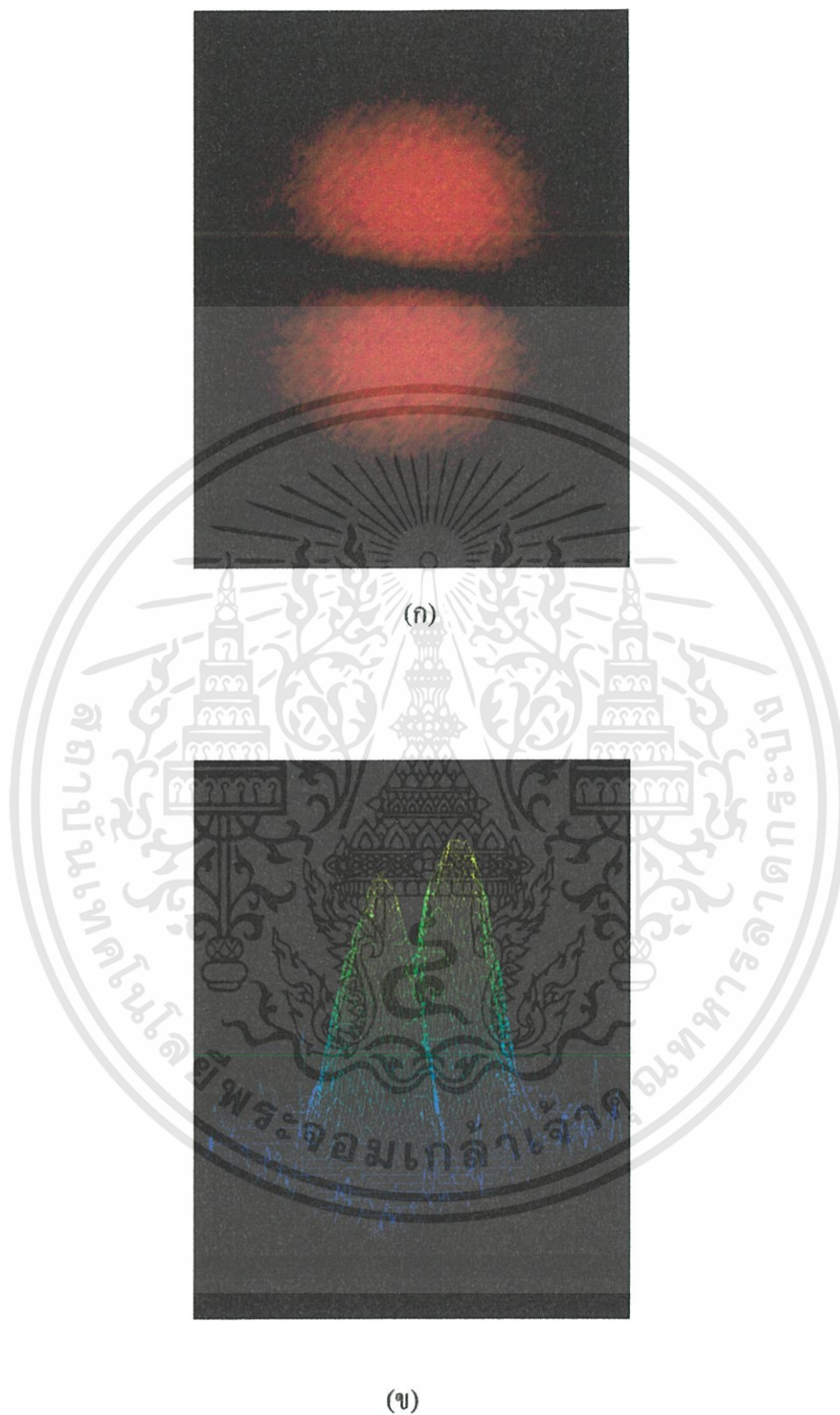


รูปที่ 4.38 ก) กราฟการกระจายของสนามไฟฟ้าและ ข) ความเข้มของแสงเลเซอร์ที่โหมด TEM_{00} (จากทฤษฎี)

จากรูปที่ 4.38ข จะเห็นได้ว่าลักษณะของกราฟความเข้มของแสงจะมีมากที่สุดที่บริเวณตรงกลางจากนั้นจะค่อยๆลดลง บริเวณสีแดงจะมีความเข้มของแสงมากที่สุดจากนั้นความเข้มของแสงจะลดลงเรื่อยๆและมีความเข้มน้อยที่สุดบริเวณสีน้ำเงิน

2) โหมด TEM_{01}

ลักษณะที่สังเกตเห็นบนฉากจะเป็นจุดแสงสีแดง 2 จุดในแนวตั้ง ดังรูปที่ 4.39



รูปที่ 4.39 ก) ลักษณะโหมด TEM_{01} เมื่อมองบนฉาก

ข) การกระจายความเข้มของแสงของโหมด TEM_{01}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาจากพหุนามฮอร์ไมต์ในรูปทั่วไปคือ

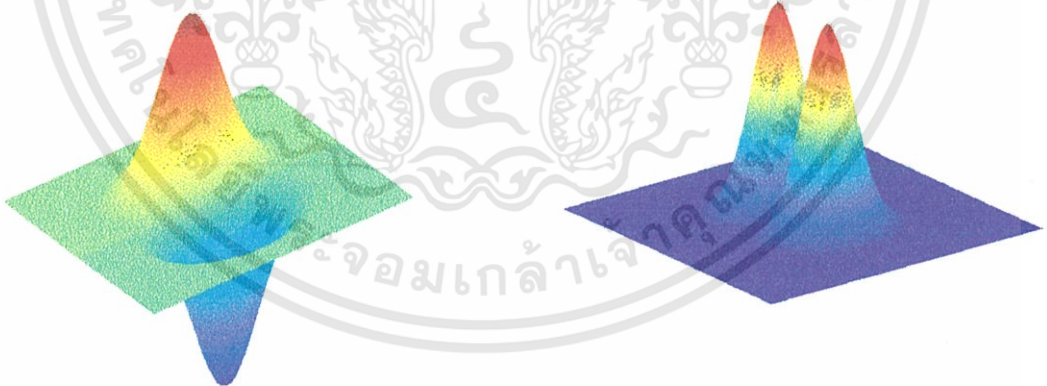
$$E_{mn}(x,y) = E_0 H_m\left(\frac{\sqrt{2}x}{w}\right) H_n\left(\frac{\sqrt{2}y}{w}\right) e^{-\rho^2/w^2}$$

จะได้ $H_0(u) = 1$ และ $H_1(u) = \frac{2\sqrt{2}y}{w}$

ดังนั้นจากสมการในรูปทั่วไปจะเหลือเพียง

$$E_{01}(x,y) = E_0 \frac{2\sqrt{2}y}{w} e^{-\rho^2/w^2} \quad (4.8)$$

สมการที่ 4.8 คือสมการของสนามไฟฟ้าที่โหมด TEM_{01} และเมื่อยกกำลังสองสมการที่ 4.8 จะได้ความเข้มของแสงเลเซอร์ การกระจายของสนามไฟฟ้าและความเข้มของแสงที่โหมด TEM_{01} จะแสดงในรูปที่ 4.40



(ก)

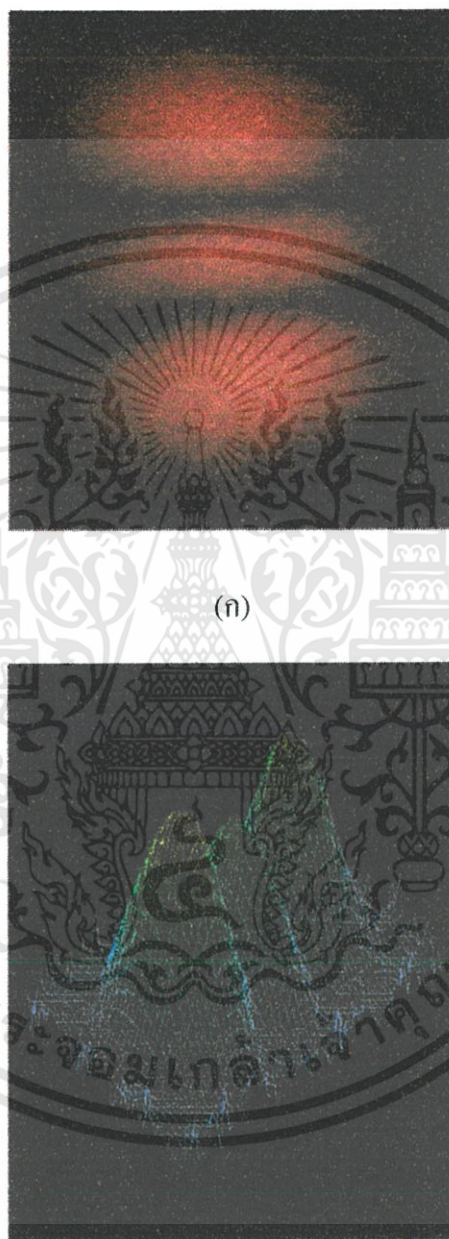
(ข)

รูปที่ 4.40 ก) การกระจายของสนามไฟฟ้าที่โหมด TEM_{01} และ ข) ความเข้มของแสงเลเซอร์ที่โหมด TEM_{01} [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) โหมด TEM₀₂

ลักษณะของโหมด TEM₀₂ ที่สังเกตเห็นจะมีจุดสีแดง 3 จุดในแนวตั้ง จุดตรงกลางจะมีขนาดเล็กกว่าจุดที่อยู่ริมทั้งสองด้าน ดังรูปที่ 4.41



(ข)

รูปที่ 4.41 ก) โหมด TEM₀₂ เมื่อมองบนฉาก

ข) การกระจายความเข้มของแสงของโหมด TEM₀₂

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ 2.23 เมื่อ $m = 0$ และ $n = 2$ จะได้

$$H_0(u) = 1 \text{ และ } H_2(u) = \left(\frac{8y^2}{w^2} - 2 \right)$$

ดังนั้นจากสมการ 2.22 จะได้

$$E_{02}(x, y) = E_0 \left(\frac{8y^2}{w^2} - 2 \right) e^{-\rho^2/w^2} \quad (4.9)$$

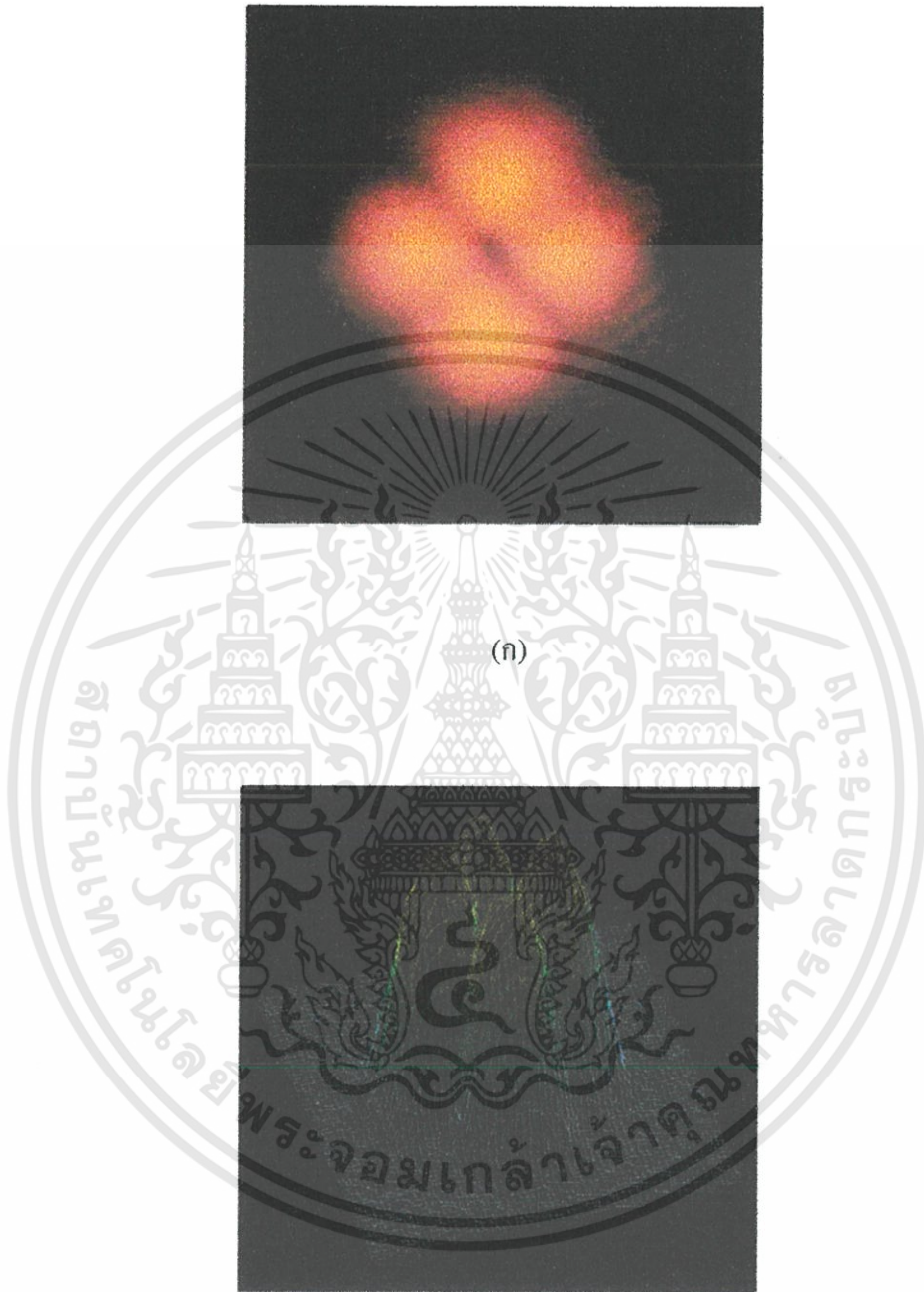
สมการ 4.9 คือสมการการกระจายของสนามไฟฟ้าที่โหมด TEM_{02} เมื่อยกกำลังสองสมการที่ 4.9 จะได้ความเข้มของแสงเลเซอร์ที่โหมด TEM_{02} ลักษณะกราฟการกระจายของสนามไฟฟ้าและความเข้มของแสงเลเซอร์จะแสดงในรูปที่ 4.42



รูปที่ 4.42 ก) การกระจายของสนามไฟฟ้าที่โหมด TEM_{02} และ ข) ความเข้มของแสงที่โหมด TEM_{02} [11]

4) โหมด TEM_{11}

ลักษณะของโหมด TEM_{11} จุดของแสงเลเซอร์ที่ปรากฏบนฉากจะเป็นจุดสี่แดง 4 จุด ดังรูปที่ 4.43



(ข)

รูปที่ 4.43 ก) โฮมด TEM_{11} เมื่อปรากฏบนฉาก

ข) การกระจายความเข้มของแสงเลเซอร์ของโฮมด TEM_{11}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

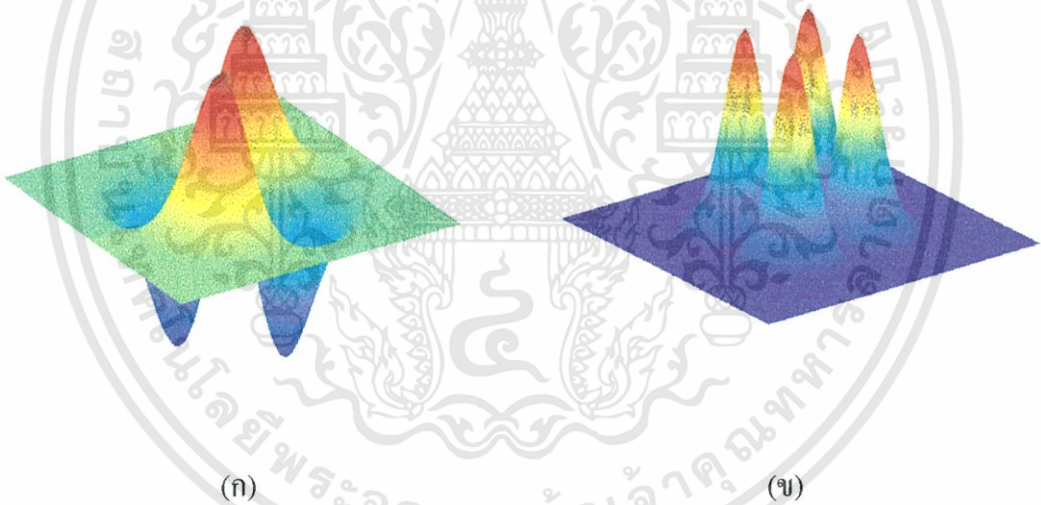
จากสมการ 2.23 เมื่อ $m = n = 1$ จะได้

$$H_1(u) = \frac{2\sqrt{2}x}{w} \quad \text{และ} \quad H_1(u) = \frac{2\sqrt{2}y}{w}$$

ดังนั้นจากสมการ 2.22 สามารถเขียนได้ว่า

$$E_{11}(x,y) = E_0 \frac{8xy}{w^2} e^{-p^2/w^2} \quad (4.10)$$

สมการ 4.10 คือ สมการการกระจายของสนามไฟฟ้าที่โหมด TEM_{11} และเมื่อยกกำลังสองสมการที่ 4.10 จะได้ความเข้มของแสงเลเซอร์ กราฟการกระจายของสนามไฟฟ้าและความเข้มของแสงเลเซอร์ของโหมด TEM_{11} จะแสดงในรูปที่ 4.44



รูปที่ 4.44 ก) การกระจายของสนามไฟฟ้าที่โหมด TEM_{11} และ ข) ความเข้มของแสงเลเซอร์ที่โหมด TEM_{11}

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

บทนี้จะสรุปผลการทดลองที่ได้จากหลอดเลเซอร์ทั้งสองชนิดคือ หลอดเลเซอร์ชนิดกระจกภายในและหลอดเลเซอร์ชนิดกระจกภายนอก การปล่อยของแสงเลเซอร์ การเกิดโหมคตามขวางของแสงเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน รวมทั้งปัญหาต่างๆ ที่พบขณะทำงานวิจัยและข้อเสนอแนะที่ควรปรับปรุงแก้ไข

5.1 สรุปผลการวิจัย

1) งานวิจัยนี้สามารถสร้างระบบสุญญากาศซึ่งสามารถสูบอากาศได้ถึงความดัน 10^{-7} มิลลิบาร์ โดยใช้ปั๊มสุญญากาศสองชนิดคือ ปั๊มแบบโรตารี (Rotary Pump) และปั๊มเทอร์โบโมเลกูลาร์ (Turbomolecular Pump)

2) เมื่อใช้หลอดเลเซอร์ชนิดกระจกภายในสามารถสร้างเลเซอร์จากก๊าซฮีเลียมและนีออนที่หาได้ภายในประเทศ โดยทำการผสมก๊าซทั้งสองชนิดที่ความดันรวมภายในหลอดต่างๆ กันที่อัตราส่วน 5:1 จากนั้นทำการผสมก๊าซทั้งสองโดยใช้อัตราส่วน 6:1 7:1 8:1 10:1 12:1 14:1 16:1 18:1 และ 20:1 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าที่อัตราส่วน 12:1 ที่ความดันรวม 2.4 มิลลิบาร์ แสงเลเซอร์ที่ได้จะมีกำลังสูงสุด

3) จากการศึกษาการผสมก๊าซที่อัตราส่วนต่างกันโดยใช้ความดันรวมภายในหลอดค่าต่างๆ พบว่าเมื่อเพิ่มความดันกำลังของแสงเลเซอร์จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงความดันรวมค่าหนึ่งแสงเลเซอร์จะมีกำลังสูงสุดจากนั้นเมื่อเพิ่มความดันต่อไปเรื่อยๆ กำลังของแสงเลเซอร์จะลดลงจนเลเซอร์หยุดทำงานในที่สุด จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถอธิบายได้ด้วยค่าระยะปลอดการชนเฉลี่ย (โดยที่ระยะปลอดการชนเฉลี่ยดังกล่าวยังเป็นค่าที่สามารถทำให้เกิดแสงเลเซอร์ได้) จากสมการที่ (4.1) พบว่าระยะปลอดการชนเฉลี่ยจะแปรผกผันกับความดันของระบบ ดังนั้นเมื่อความดันมีค่าน้อยระยะปลอดการชนเฉลี่ยจะมีค่ามาก เมื่อพิจารณาอะตอมของก๊าซฮีเลียมถ้าระยะปลอดการชนเฉลี่ยมีค่ามากโอกาสที่อะตอมของก๊าซฮีเลียมจะชนอะตอมของก๊าซนีออนจะลดลง ทำให้มีอะตอมของก๊าซนีออนที่ระดับพลังงานกระตุ้นน้อย พิจารณาอะตอมของก๊าซนีออน การที่อะตอมของก๊าซนีออนจะลดระดับพลังงานจากสถานะกระตุ้นลงสู่สถานะพื้นได้จะต้องชนกับผนังของหลอดเลเซอร์แล้วถ่ายเทพลังงานให้กับหลอดเลเซอร์ก่อนจึงจะตกลงสู่สถานะพื้น ดังนั้นถ้าระยะปลอดการชนเฉลี่ยมีค่ามากโอกาสที่อะตอมของก๊าซนีออนจะชนกับผนังของหลอดเลเซอร์จะมาก

ทำให้มีจำนวนอะตอมของก๊าซนีออนที่สถานะพื้นมาก ถึงแม้ว่าจะมีจำนวนอะตอมของก๊าซนีออนที่สถานะพื้นมากแต่โอกาสที่จะชนกับอะตอมของก๊าซนีออนน้อยเนื่องจากระยะปลอดการชนเฉลี่ยมีค่ามากดังที่กล่าวมาแล้ว ดังนั้นกำลังของเลเซอร์ที่ความดันต่ำๆจึงมีค่าไม่สูงมากนัก

4) จากผลการทดลองในข้อ 3 ถ้าความดันที่ใช้มีค่าสูงระยะปลอดการชนเฉลี่ยจะมีค่าน้อย พิจารณาอะตอมของก๊าซฮีเลียมถ้าระยะปลอดการชนเฉลี่ยมีค่าน้อย ระยะทางที่อะตอมของก๊าซฮีเลียมจะชนอะตอมของก๊าซนีออนจะน้อยลงทำให้อะตอมของก๊าซฮีเลียมไม่สามารถถ่ายเทพลังงานให้อะตอมของก๊าซนีออนได้ทั้งหมด พิจารณาอะตอมของก๊าซนีออนถ้าระยะปลอดการชนเฉลี่ยมีค่าน้อยระยะทางที่อะตอมของก๊าซนีออนจะเคลื่อนที่ชนผนังของหลอดเลเซอร์จะน้อยลง ทำให้มีอะตอมของก๊าซนีออนบางส่วนเคลื่อนที่ไม่ชนผนังหลอดเลเซอร์เป็นผลให้จำนวนอะตอมของก๊าซนีออนที่สถานะพื้นมีจำนวนน้อยส่งผลให้จำนวนอะตอมของก๊าซนีออนที่สถานะกระตุ้นมีจำนวนน้อยลงด้วยจากเหตุผลที่กล่าวมาว่าความดันสูงๆกำลังของเลเซอร์จะมีค่าต่ำ

5) จากผลการทดลองในข้อ 3 จะมีความดันรวมในช่วงที่เหมาะสมเพียงช่วงเดียวที่ทำให้ระยะปลอดการชนเฉลี่ยของก๊าซฮีเลียมมีค่าพอเหมาะที่จะชนอะตอมของก๊าซนีออนแล้วถ่ายเทพลังงานให้จนหมดและมีค่าพอเหมาะสำหรับจำนวนอะตอมของก๊าซนีออนที่จะชนผนังของหลอดเลเซอร์ แล้วลดระดับพลังงานลงสู่สถานะพื้น ได้เป็นจำนวนมากส่งผลให้จำนวนอะตอมของก๊าซนีออนที่สถานะกระตุ้นมีจำนวนมากตามไปด้วยเลเซอร์ที่เกิดขึ้นที่ความดันนี้จึงมีค่าสูงสุดและจากการทดลองยังพบอีกว่าในแต่ละอัตราส่วนจะมีค่าความดันเพียงค่าเดียวที่ทำให้เลเซอร์มีกำลังสูงสุด ดังนั้นในแต่ละอัตราส่วนจะมีระยะปลอดการชนเฉลี่ยที่พอเหมาะสำหรับก๊าซฮีเลียมและก๊าซนีออนของแต่ละอัตราส่วนเองและจะพบว่าที่อัตราส่วน 12:1 ที่ความดันรวม 2.4 มิลลิบาร์ เลเซอร์จะมีกำลังสูงสุด

6) เมื่อศึกษาโดยสังเกตผลของอุณหภูมิไปด้วยจึงพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นกำลังของเลเซอร์จะลดลง จากผลดังกล่าวสามารถอธิบายได้ด้วยค่าของระยะปลอดการชนเฉลี่ย จากสมการที่ (4.1) พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นระยะปลอดการชนเฉลี่ยจะมีค่ามากขึ้น เมื่อระยะปลอดการชนเฉลี่ยมีค่ามากการชนกันของอะตอมฮีเลียมและนีออนจะมีค่าลดลงจึงเป็นสาเหตุให้กำลังของเลเซอร์ลดลงไปด้วย ดังนั้นถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นมากๆกำลังของเลเซอร์จะลดลงอย่างมากจนกระทั่งหายไป

7) เมื่อผสมก๊าซที่อัตราส่วนต่างกันพบว่าที่อัตราส่วนที่ 7:1 เป็นอัตราส่วนที่แสงเลเซอร์ที่สร้างขึ้นมีเสถียรภาพสูงที่สุดจากรูปที่ 4.14 จะเห็นว่ากำลังของเลเซอร์ไม่ลดลงเลยตลอด 2 ชั่วโมง ที่ทำการวัดกำลังแต่ที่อัตราส่วนของก๊าซเป็น 5:1 6:1 8:1 10:1 12:1 14:1 16:1 18:1 และ 20:1 นั้นกำลังเลเซอร์จะค่อยๆลดลงเรื่อยๆเมื่อเวลาผ่านไป ดังนั้นอัตราส่วนผสมก๊าซฮีเลียมและนีออนที่ 7:1 จึงเป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุดที่จะใช้สร้างเลเซอร์ฮีเลียมนีออนต่อไป

8) จากการศึกษาการแปรกำลังของเลเซอร์จากหลอดชนิดกระจกภายนอกเมื่อใช้กระจกหน้าที่มีค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงต่างกัน พบว่าเมื่อค่าของเปอร์เซ็นต์การสะท้อนมีค่ามากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังของเลเซอร์จะลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากกระจกเลเซอร์นั้นจะทำการเคลือบให้สะท้อนแสงที่ความยาวคลื่นที่ต้องการคือความยาวคลื่นของเลเซอร์ จึงทำให้มีแสงความยาวคลื่นของเลเซอร์สะท้อนกลับเข้าไปข้างในตัวถังห้องเชิงทศน์ได้มาก ดังนั้นเมื่อเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงมากจึงเป็นเหตุให้กำลังของเลเซอร์ออกมาน้อย แต่กระจกที่มีเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงมากที่สุดจะปรับให้เกิดแสงเลเซอร์ได้ง่ายที่สุดเพราะว่ากระจกที่เปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงมากที่สุดนั้นจะสะท้อนให้แสงความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร ให้กลับเข้าไปในตัวถังห้องเชิงทศน์ได้มากเมื่อแสงกลับเข้าไปได้มากจะเกิดการขยายภายในตัวถังห้องเชิงทศน์มากขึ้นจึงเกิดเป็นเลเซอร์ได้ง่ายขึ้นแต่กำลังของเลเซอร์จะน้อยดังที่กล่าวไปแล้ว

9) การศึกษาการลู่ออกของลำแสงเลเซอร์พบว่า การลู่ออกของแสงเลเซอร์แบบ Multimode มีการลู่ออกด้วยมุม 3.29 มิลลิเรเดียน(mrad) ในขณะที่ปรับกระจกให้แสงเลเซอร์เป็นโหมด TEM₀₀ พบว่าการลู่ออกเป็นมุม 1.89 มิลลิเรเดียน จะเห็นได้ว่าการลู่ออกของลำแสงเลเซอร์เมื่อให้แสงมีโหมดเป็น TEM₀₀ จะมีการลู่ออกน้อยกว่า Multimode แสงที่โหมด TEM₀₀ จึงมีความเป็นแสงขนานมากกว่า Multimode และเมื่อเปรียบเทียบกับโหมด TEM₀₀ ของหลอดชนิดกระจกภายนอกหลอดที่ผลิตจากต่างประเทศพบว่ามุมของการลู่ออกมีค่า 1.89 มิลลิเรเดียน เช่นกัน ดังนั้นจึงสามารถใช้แสงเลเซอร์ที่สร้างขึ้นโดยใช้โหมด TEM₀₀ ที่ปรับได้ นี้ไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยอื่นๆ ได้

10) เมื่อทำการทดลองปรับกระจกเลเซอร์ของหลอดชนิดกระจกภายนอกพบว่าสามารถทำให้เกิดโหมดตามขวางต่างๆ หลายโหมด เช่น TEM₀₁ TEM₀₂ TEM₁₁ เป็นต้น และลักษณะการเกิดโหมดตามขวางนี้สามารถอธิบายได้ด้วยพหุนามเฮร์ไมต์โดยที่รูปสมการทั้งหมดคือสมการของสนามไฟฟ้าและเมื่อทำการยกกำลังสองสมการนี้จะกลายเป็นสมการความเข้มของแสงเลเซอร์ ความเข้มของแสงเลเซอร์สามารถแสดงให้เห็นได้โดยการวิเคราะห์การกระจายความเข้มของแสงด้วยระบบ Laser Beam Profiler ที่พัฒนาขึ้นโดยห้องปฏิบัติการเลเซอร์ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สจล.

5.2 ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะ

1) ในเรื่องระบบสุญญากาศพบปัญหาคือระยะทางระหว่างหลอดเลเซอร์ถึงปั๊มสุญญากาศยาวมากทำให้การปั๊มต้องใช้เวลาและค่าความดันที่วัดได้ในห้องผสมก๊าซนั้นจะต่างจากความดันภายในหลอดอยู่บ้าง การปรับปรุงควรจัดให้ระยะห่างระหว่างหลอดเลเซอร์และปั๊มสุญญากาศใกล้กันให้มากที่สุดจะทำให้ไม่เสียเวลาในการปั๊ม

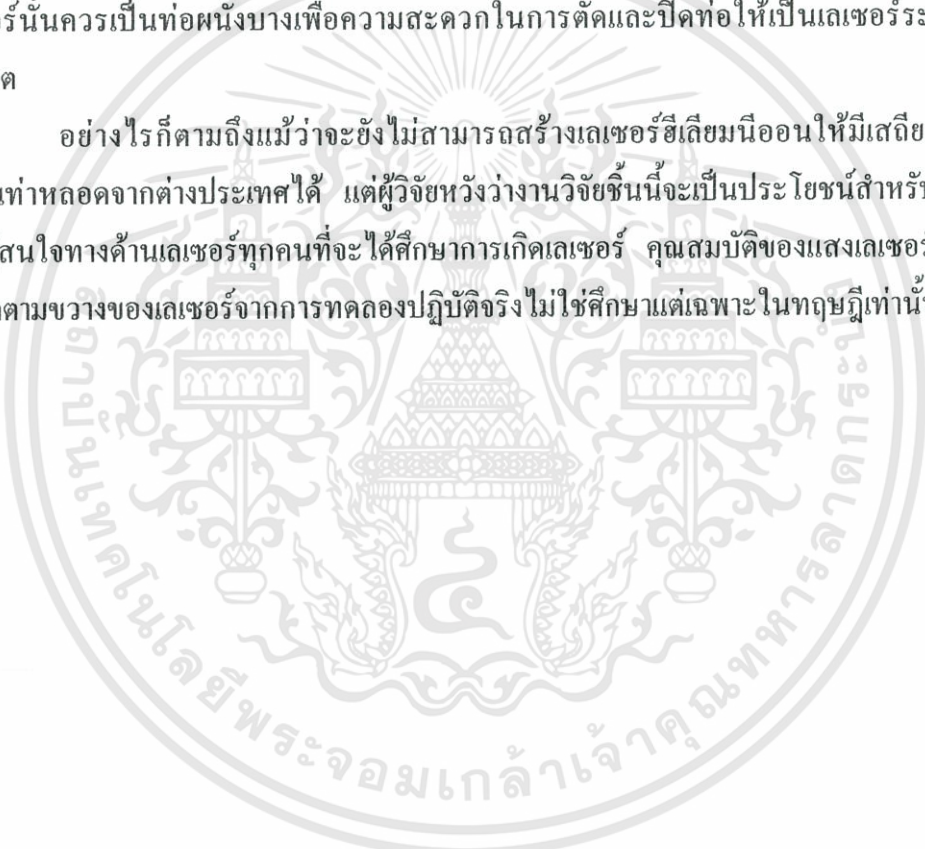
2) การวัดความดันรวมภายในหลอดเลเซอร์ไม่ได้วัดที่ตัวหลอดจริงๆ แต่วัดเทียบจากห้องผสมก๊าซ การปรับปรุงควรติดเกจวัดความดันที่ใกล้ๆ หลอดเลเซอร์ให้มากที่สุด จะทำให้การปรับอัตราส่วนและความดันรวมภายในหลอดเลเซอร์ทำได้แม่นยำมากกว่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) จากการศึกษาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและกำลังของเลเซอร์พบว่ากำลังของเลเซอร์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและเมื่อใช้พัลส์เลเซอร์ที่ชั่วพลอดพบว่ากำลังเลเซอร์กลับเพิ่มขึ้นมาอีกและใช้เวลานานมากกว่าที่เลเซอร์จะหายไป จากผลการทดลองที่กล่าวมานี้การที่เลเซอร์หายไปอาจเนื่องมาจากการต่อท่อผสมก๊าซต่อด้วยกาวเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอาจทำให้กาวเกิดการขยายตัวทำให้อากาศจากภายนอกรั่วเข้ามาหรืออีกสาเหตุหนึ่งคือ ก๊าซที่ฝังตัวอยู่ในหลอดแก้วเองเมื่อถูกความร้อนจะค่อยๆระเหยออกมาทำให้ส่วนผสมผิดไป กำลังของเลเซอร์จึงลดลงเรื่อยๆจนหยุดทำงานในที่สุด การปรับปรุงควรใช้กาวที่มีผลต่อความร้อนน้อยที่สุดและเมื่อความดันต่ำๆ กาวที่ใช้จะต้องไม่ระเหยออกมาทำให้ส่วนผสมของก๊าซมีสิ่งเจือปน

4) ท่อโลหะที่เชื่อมอยู่ที่หลอดแก้วเพื่อนำก๊าซผสมจากห้องผสมก๊าซเข้ามายังหลอดเลเซอร์นั้นควรเป็นท่อผนังบางเพื่อความสะดวกในการตัดและปิดท่อให้เป็นเลเซอร์ระบบปิดในอนาคต

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าจะยังไม่สามารถสร้างเลเซอร์ฮีเลียมนีออนให้มีเสถียรภาพมากเทียบเท่าหลอดจากต่างประเทศได้ แต่ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยชิ้นนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับนักศึกษาและผู้สนใจทางด้านเลเซอร์ทุกคนที่จะได้ศึกษาการเกิดเลเซอร์ คุณสมบัติของแสงเลเซอร์ การเกิดโหมดตามขวางของเลเซอร์จากการทดลองปฏิบัติจริงไม่ใช่ศึกษาแต่เฉพาะในทฤษฎีเท่านั้น



เอกสารอ้างอิง

- [1] สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว. เลเซอร์เอ็นจีเนียริง. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2529
- [2] C. Breck. Hitz. **Understanding Laser Technology** 2ndEd. Oklahoma: Pennwell Books 1991.
- [3] John Hawkes , Ian Latimer. **Laser: Theory and Practice**. New York:Prentice Hall 1994
- [4] สุรพล รักวิชัย. เลเซอร์ ทฤษฎีและการประยุกต์ กรุงเทพมหานคร เพียร์สัน เอ็ดดูเคชั่น อินโดไชน่า. 2544.
- [5] William.T. Silfvast. **Laser Fundamental** New York: Cambridge University Press 1996
- [6] Joseph.T. Verdeyen **Laser Electronics** 2ndEd. New York: Prentice Hall 1989
- [7] Arnold. L Bloom **Gas Laser** New York: Robert. E. Krieger 1978
- [8] Collin S. Willett. **Introduction to Gas Lasers: Population Inversion Mechanisms**. New York. Pergamon Press. 1974
- [9] ศ.ทิพวรรณ คล้ายบุญมี " การศึกษาแหล่งกำเนิดไอออนชนิดฮอโลแคโทดแมกนีตรอน." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2543
- [10] Amnon.Yariv **Optical Electronics** 4thEd. New York: Saunders College 1991.
- [11] Amnon. Yariv **Quantum Electronics** 3rdEd. New York: John Wiley and Son 1989

ภาคผนวก

หลักความปลอดภัยเกี่ยวกับเลเซอร์ [4]

ในทางปฏิบัติแล้วเลเซอร์ให้รังสีที่มีอันตราย อัตราเสี่ยงของอันตรายมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับเอาต์พุตของแสงเลเซอร์ รวมทั้งวิธีการใช้และประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงานเองด้วย ชนิดของเลเซอร์และวิธีการใช้ที่เห็นอยู่มีหลากหลาย จึงจำเป็นจะต้องเรียนรู้เกี่ยวกับอันตรายที่จะเกิดขึ้น กลไกที่รังสีเลเซอร์ทำให้เกิดความเสียหายต่อระบบชีวภาพจะเหมือนๆ กันซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับกระบวนการทางความร้อน เทอร์โมอคูสติก (thermoacoustic) และโฟโตเคมีคัล (photochemical) กลไกที่สร้างความเสียหายให้แก่ระบบชีวภาพนี้จะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ของแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ เช่น ความยาวคลื่น ช่วงเวลาของพัลส์ ขนาดและกำลังของแสงเลเซอร์ ตลอดจนความหนาแน่นของพลังงาน

คุณสมบัติหลักประการหนึ่งของรังสีเลเซอร์คือ สามารถรวมแสงให้เป็นลำได้ ทำให้มีความหนาแน่นพลังงานสูง ฉะนั้นถ้าระบบชีวภาพสามารถดูดกลืนพลังงานนี้ได้ การดูดกลืนแสงเลเซอร์อาจจะเกิดขึ้นได้โดยอะตอมหรือโมเลกุลที่ความยาวคลื่นเฉพาะค่า ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายแก่เนื้อเยื่อได้ การดูดกลืนรังสีนี้ยังทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้พันธะในโมเลกุลแตก ปริมาณอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นนี้จะสัมพันธ์กับระยะเวลาการได้รับแสง กำลังส่องสว่างของลำแสงเรียกว่าโดส (dose) ซึ่งมีหน่วยเป็นจูลต่อตารางเมตร (J/m^2) การได้รับความร้อนสูงขึ้นทำให้ของเหลวภายในเซลล์กลายเป็นก๊าซ เซลล์จึงเกิดความเสียหาย โดยทั่วไปแล้วความสัมพันธ์ระหว่างกลไกที่ทำให้เกิดความเสียหาย และระยะเวลาได้รับแสงค่อนข้างซับซ้อน จึงไม่กล่าวรายละเอียดในที่นี้

อวัยวะของร่างกายที่อาจจะเกิดความเสียหายได้ง่ายเมื่อได้รับรังสีเลเซอร์ ได้แก่ ดวงตา เนื่องจากเลนส์ตาสามารถโฟกัสรังสีเลเซอร์ที่ตกกระทบได้ ขนาดของจุดโฟกัสจะอยู่ในระดับขนาดเดียวกับความยาวคลื่นที่สอดคล้องกับความหนาแน่นพลังงานสูง อันตรายที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น ดังนั้นรังสีในย่านอัลตราไวโอเล็ตและอินฟราเรดจะถูกดูดกลืนโดยคอร์เนีย (cornea) คอร์เนียจึงเสียหายได้ ในขณะที่รังสีในย่านแสงที่มองเห็นและใกล้อินฟราเรดจะก่อให้เกิดอันตรายต่อเรตินา (retina) กำลังส่องสว่างที่เพิ่มขึ้นจากคอร์เนียกับเรตินามีค่าประมาณเท่ากับอัตราส่วนของพื้นที่ของม่านตา (pupil) กับภาพที่ปรากฏบนเรตินา ม่านตาขยายได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 mm ซึ่งสอดคล้องกับภาพที่เกิดเรตินาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10-20 μm ดังนั้นกำลังส่องสว่างเพิ่มขึ้นระหว่าง 20×10^5 ถึง 5×10^5 เท่า ลำแสงเลเซอร์ขนาด $50 Wm^{-2}$ ที่ตกกระทบคอร์เนียจะทำให้เรตินาได้รับแสง $25 MWm^{-2}$ เม็ดสี (pigment) ในเรตินาจะดูดกลืนแสงได้ห้าเปอร์เซ็นต์ ด้วยปริมาณเท่านี้ก็เพียงพอที่จะทำให้ตาบอดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปแล้วจะพบว่า ผิวหนังสามารถทนความร้อนจากแสงเลเซอร์ได้มากกว่าดวงตา อย่างไรก็ตามสำหรับเลเซอร์ที่มีกำลังสูงๆ อาจทำให้เกิดเป็นตุ่ม แผลมีหนองหรือแผลเป็นที่ผิวหนังได้ เนื่องจากความเป็นอันตรายขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น พบว่าความยาวคลื่นย่านอัลตราไวโอเล็ตจะมีอันตรายสูงสุด สำหรับองค์กรใดที่มีการใช้เลเซอร์จำเป็นต้องมีมาตรการความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน ซึ่งมาตรการดังกล่าวขึ้นอยู่กับการใช้งานชนิดเลเซอร์ การจำแนกเลเซอร์ในประเทศอังกฤษและยุโรปมีดังนี้

การจำแนกเลเซอร์ตามหลักการ BS 4803

- Class 1** เอ้าท์พุทที่มีกำลังต่ำมากมีความปลอดภัยสูง
- Class 2** เอ้าท์พุทอยู่ในพิสัยที่มองเห็นได้ ไม่เกิน 1 mW สำหรับเลเซอร์ CW โดยธรรมชาติจะมีความปลอดภัย แต่การทำงานต้องใช้อุปกรณ์ป้องกันดวงตาจึงสามารถควบคุมอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นได้
- Class 3A** เลเซอร์จะมีลำแสงอยู่ระหว่าง 400 nm ถึง 700 nm มีกำลังไม่เกิน 5 m สำหรับเลเซอร์ CW จำเป็นต้องมีมาตรการปลอดภัย การมองแสงเลเซอร์ด้วยตาเปล่าจะทำให้เกิดอันตรายได้
- Class 3B** เลเซอร์ใน class นี้มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 200 nm จนถึง 1 mm กำลังของเอ้าท์พุทไม่เกิน 500 mW สำหรับเลเซอร์ CW ควรหลีกเลี่ยงการมองตรงๆ การสะท้อนของแสงเข้าในตาอาจทำให้เกิดอันตรายได้ ฉะนั้นจำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์ป้องกันดวงตาเมื่อมองแสงเลเซอร์
- Class 4** เลเซอร์ใน class นี้ยังคงมีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 200 nm ถึง 500 nm การมองแสงสะท้อนของเลเซอร์จะก่อให้เกิดอันตรายแก่ดวงตาได้ นอกจากนี้การที่ผิวหนังได้รับแสงเลเซอร์จะทำให้ผิวหนังไหม้เป็นแผลได้ ถ้าแสงสามารถทำให้เกิดเปลวเพลิงได้ถ้าตกกระทบวัสดุบางประเภท ดังนั้นจึงควรระมัดระวังให้มากเมื่อใช้เลเซอร์ใน class นี้

โดยปกติเลเซอร์แต่ละเครื่องจะมีการระบุความเหมาะสมและต้องมีคำเตือนที่หน้าห้องปฏิบัติการเสมอ อุปกรณ์ป้องกันดวงตาจะต้องมีไว้เสมอเมื่อใช้เลเซอร์ class 3B และ class 4 และต้องระมัดระวังวัสดุเครื่องป้องกันต่างๆ นั้นไม่สามารถป้องกันอันตรายจากแสงเลเซอร์ได้ทุก class และเครื่องเลเซอร์จะใช้ไฟฟ้าแรงดันสูง (หลาย kv) และใช้กระแสสูงมากดังนั้นจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงความปลอดภัยในประเด็นนี้ด้วย

ประวัติผู้เขียน

นายสุรชาติ กมลดิกล เกิดเมื่อวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2513 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จ การศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหงปีการศึกษา 2536 เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2538



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้