

การประยุกต์ใช้ Nd : YAG LASER ในการหาระดับความสูงและ
ความหนาของ TROPOPAUSE โดยเทคนิคของ PULSE RADAR
HEIGHT AND THICKNESS OF TROPOPAUSE
ESTIMATION USING Nd:YAG LASER BASED-ON
PULSE RADAR TECHNIQUE



นายสมเกียรติ ฤกษ์วีรยัญญู

MR. SOMKIAT LERKVARANYU

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดำเนินการตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2539

ISBN 974-621-709-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 27270

วัน, เดือน, ปี 18 ส.ค. 2540

HEIGHT AND THICKNESS OF TROPOPAUSE
ESTIMATION USING Nd:YAG LASERBASED-ON
PULSE RADAR TECHNIQUE



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1996

ISBN 974-621-709-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้ Nd : YAG Laser ในการหาระดับความสูง และความหนาของ Tropopause โดยเทคนิคของ Pulse Radar
นักศึกษา	นายสมเกียรติ ฤกษ์วีระบุญ
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.กอบชัย เฉลยหาญ
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง 2539

บทคัดย่อ

ในการนำเลเซอร์ชนิดต่างๆ มาประยุกต์ใช้งานมีอยู่มากมาย และในด้าน Remote sensing ได้มีการนำเลเซอร์มาใช้ในงานที่ต้องการความละเอียดสูงของตำแหน่ง และระยะทาง และในวิทยานิพนธ์นี้จะกล่าวถึงการนำเลเซอร์มาประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดหาระดับความสูง และความหนาของชั้นบรรยากาศ Tropopause โดยจะใช้ Nd : YAG Laser เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นโดยจะให้ความยาวคลื่นที่ 532 นาโนเมตร และในการส่งแสงเลเซอร์จะจัดให้อยู่ในแนวตั้งฉากกับพื้นดิน และจะใช้ Telescope ในการรับคลื่นที่เกิดจากการกระเจิงของแสงเลเซอร์ในอากาศ และใช้หลอด PMT ขยายสัญญาณที่รับได้โดยในการรับสัญญาณจะทำการรับสัญญาณสองโพลาไรเซชันที่ตั้งฉากซึ่งกันและกัน และนำสัญญาณที่ได้ไปวิเคราะห์ และประมวลผลโดยคอมพิวเตอร์ และการวัดสัญญาณวัดทั้งขนาดและเฟสที่เปลี่ยนแปลงไปโดยเกิดจาก Cirrus cloud ที่อยู่ทั่วบริเวณชั้นของ Tropopause และจากผลการทดลองจะได้ระดับความสูงของ Tropopause อยู่ประมาณ 15 กิโลเมตร และมีความหนาประมาณ 4-6 กิโลเมตร เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลต่อไปในการศึกษาการแปรของคลื่นวิทยุ

Thesis Title Height and Thickness of Tropopause Estimation Using Nd:YAG
Laser Based-on Pulse Radar Techniques

Student Mr. Somkiat Lerkvaranyu

Thesis Advisor Assoc. Prof. Dr. Kobchai Dejhan

Level of Study Master of Engineering in Electrical Engineering

Department Telecommunication Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Year 1996

Abstract

This thesis presents the applications with experimental results of laser for remote sensing to measure the height and thickness of tropopause. The atmosphere will be measured by using Nd : YAG laser which generates the wave at 532 nm wavelength. The laser generator will be installed in vertical axis with respect to the earth, the telescope will be used to receive the scattered wave of laser in the sky. The PMT tube amplifies the received signal in the form of two normal polarizations. The amplitude and phase of received signal from cirrus cloud will be processed and analyzed by the PC. The experimental results show that the height of tropopause is about 15 km from the earth. and the thickness of tropopause is about 4-6 km. The data will be useful to study about the radiowave propagation.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้ทำวิจัยขอกราบขอบพระคุณท่าน
อาจารย์ รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ ที่ให้คำแนะนำตลอดจนให้ความช่วยเหลือด้านเอกสารข้อมูล
ต่างๆอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

ผู้ทำวิจัยขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ ศศ.อภิรักษ์ มัชฌานนท์ และ Dr.Toshikazu
Itabe ที่ให้คำแนะนำตลอดจนให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆ ซึ่งเป็นผลให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถ
สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายผู้ทำวิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ตลอดจนขอขอบคุณน้องและเพื่อนๆ
ผู้ให้กำลังใจทางด้านการศึกษามาโดยตลอด

สมเกียรติ ฤกษ์วัลญญู



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII
บทที่	
1. บทนำ.....	1
แนวความคิดของวิทยานิพนธ์.....	1
วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	1
ประโยชน์ที่จะได้รับจากวิทยานิพนธ์.....	2
2. โครงสร้างของชั้นบรรยากาศ และผลกระทบต่อการแพร่ของคลื่นในอากาศ.....	4
บทนำ.....	4
ชั้นบรรยากาศ.....	4
ส่วนประกอบต่างๆในชั้นบรรยากาศ.....	8
ความหนาแน่นและขนาดของอนุภาคต่างๆในชั้นบรรยากาศ.....	11
ผลกระทบในการแพร่คลื่นที่ความถี่ต่างๆในตัวกลางที่เป็นอากาศ.....	13
3. ระบบเซ็นเซอร์ และเรดาร์ชนิดต่างๆ.....	17
บทนำ.....	17
ระบบเซ็นเซอร์.....	17
ระบบเรดาร์.....	21

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
หลักการทํางานของเรดาร์.....	22
สมการเรดาร์.....	23
Radar Cross Section (RCS).....	25
เรดาร์ในการหาระยะทาง.....	27
คอปเปอร์เรดาร์.....	28
Atmospheric Radar.....	28
4. เลเซอร์เรดาร์ (Lidar system).....	29
บทนำ.....	29
Elastic Lidar.....	29
Nonelastic Lidar.....	31
5. สมการ Lidar และการประมวลผล.....	33
บทนำ.....	33
ระบบของ Lidar.....	33
สมการและเทคนิคที่ใช้ในการวัดของ Lidar.....	35
Photon Counting.....	36
การเก็บข้อมูลและประมวลผลโดยคอมพิวเตอร์.....	37
6. อุปกรณ์การทดลอง.....	43
บทนำ.....	43
เลเซอร์.....	44
Telescope.....	47

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์(PMT).....	48
Discriminator.....	51
Multichanne Iscaler(MCS) & PC.....	50
7. การทดลองและผลการทดลอง.....	51
การทดลอง.....	51
การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	52
ผลการทดลอง.....	58
ลักษณะความหนาของชั้นบรรยากาศ Tropopause.....	64
8. สรุป และข้อเสนอแนะ.....	65
สรุปผลการทดลอง.....	65
ความถูกต้องของค่าระดับความสูง Tropopause ที่ได้.....	66
แนวทางการปรับปรุงและการพัฒนา.....	67
บรรณานุกรม.....	76
ภาคผนวก โปรแกรมในการวิเคราะห์ข้อมูลที่กล่าวถึงในบทที่ 7	77
ประวัติผู้เขียน.....	91

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. แสดงอัตราส่วนผสมของก๊าซในอากาศ.....	8
2. แสดงตัวอย่างของชนิด Aerosol ต่างๆ.....	11
3. แสดงอุปกรณ์ที่ใช้งาน.....	44
4. แสดงคุณสมบัติของ Nd : YAG Laser.....	45



สารบัญภาพ

	หน้า
1. แสดงการหักเหของคลื่นเมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหไม่เท่ากัน.....	2
2. แสดงโครงสร้างของชั้นบรรยากาศ.....	5
3. แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ ที่แปรเปลี่ยนตามระยะทางความสูง กับชั้นบรรยากาศต่าง ๆ.....	6
4. แสดงความหนาแน่นของ โอโซนกับระยะความสูงจากพื้นดิน.....	9
5. แสดงความหนาแน่นของ N_2O กับระยะความสูงจากพื้นดิน.....	10
6. แสดงความสัมพันธ์ของความหนาแน่นกับระยะทางความสูง.....	12
7. แสดงขนาดของอนุภาคต่างๆในอากาศ.....	13
8. แสดงการแบ่งคลื่นออกเป็นช่วงคลื่นต่างๆ.....	14
9. แสดงการลดทอนของคลื่น เรดิโอเวฟ ช่วงความถี่ไมโครเวฟ.....	15
10. แสดงการลดทอนของคลื่นในช่วง อินฟราเรด และ Visible	16
11. แสดงการแบ่งระบบของเซ็นเซอร์.....	17
12. แสดงการแบ่งเป็นพาสซีฟ และ แอคทีฟ.....	18
13. แสดงลักษณะของบีมที่ช่วงความถี่ต่างๆ.....	20
14. แสดงการประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์ทางเรดาร์ชนิดต่างๆ.....	21
15. แสดงการทำงานของระบบของเรดาร์.....	22
16. แสดงลักษณะของพื้นที่ตกกระทบ (RCS).....	25
17. แสดงพื้นที่ตกกระทบในรูปแบบต่างๆ.....	26
18. แสดงการหาระยะทางและความเร็ว.....	27
19. แสดงปริมาณของ Ca^- และ Ca^+	30
20. แสดงระบบของ Lidar.....	34
21. แสดงการทำงานของ Photon counting.....	36
22. แสดงระดับค่า Threshold และจำนวนพัลส์ที่ได้.....	37
23. แสดงช่วงเวลาของการเก็บข้อมูล.....	38

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
24. แสดงการเก็บข้อมูล โดยคอมพิวเตอร์.....	39
25. แสดงการรวมชุดข้อมูลของชุดข้อมูล Xi ต่างๆ.....	40
26. แสดงการหา k และค่าอัตราส่วน R(h).....	41
27. แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบ.....	43
28. แสดงภาพถ่ายของเลเซอร์.....	46
29. แสดงภาพถ่ายของ Telescope.....	46
30. แสดงชนิดของ Telescope.....	47
31. แสดงการทำงานของหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (PMT).....	48
32. แสดงภาพถ่ายของ หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (PMT).....	49
33. แสดงภาพถ่ายบริเวณห้องที่ใช้ทดลอง.....	50
34. แสดงผลของลำบีมที่เกิดการทับกัน.....	51
35. แสดงโพลีชาร์ทของฟังก์ชัน Fileread ที่อยู่ในโปรแกรมในภาคผนวก.....	53
36. แสดงโพลีชาร์ทของฟังก์ชัน Gpjh ที่อยู่ในโปรแกรมในภาคผนวกที่ทำการหาค่า k และ R(h).....	54
37. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนอนุภาคกับระยะความสูง ที่ค่า $\gamma = 0.01$ ถึง 0.2 โดยในแต่ละเส้นกราฟมีค่าของ γ เพิ่มขึ้น 0.01.....	55
38. แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่า xt กับ N(h).....	56
39. แสดงค่าเปรียบเทียบชุดข้อมูล N(h) ที่คูณกับค่า k กับผลข้อมูล xt.....	57
40. แสดงอัตราส่วนของ R(h) ที่เกิดจาก Citrus cloud.....	58
41. แสดงภาพถ่ายสัญญาณจาก LeCroy 9310.....	59
42. แสดงรูปถ่ายจากดิจิทัลออสซิลโลสโคป เมื่อปรับแนวลำบีมของทั้งสองให้ทับกันที่บริเวณชั้น Tropopause.....	60
43. แสดงผลการเก็บข้อมูล 500 ครั้ง.....	61
44. แสดงผลการเก็บข้อมูล 1000 ครั้ง.....	62

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
45. แสดงผลการเก็บข้อมูล 2000 ครั้ง.....	62
46. แสดงผลการเก็บข้อมูล 4000 ครั้ง.....	63
47. แสดงผลต่างที่เกิดจาก Citrus cloud.....	63
48. แสดงค่าของ $R(h)$ ที่ใช้เวลาในการเก็บข้อมูล 120 นาที.....	64
49. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระยะความสูง.....	66
50. แสดงค่าของ $R(h)$ ที่ใช้เวลาเก็บ 120 นาที ในวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2538.....	68
51. แสดงค่าของ $R(h)$ ที่ใช้เวลาเก็บ 120 นาที ในวันที่ 6 มีนาคม 2538.....	69
52. แสดงค่าของ $R(h)$ ที่ใช้เวลาเก็บ 120 นาที ในวันที่ 3 เมษายน 2538.....	70
53. แสดงค่าของ $R(h)$ ที่ใช้เวลาเก็บ 120 นาที ในวันที่ 16 พฤษภาคม 2538.....	70
54. แสดงค่าของ $R(h)$ ที่ใช้เวลาเก็บ 120 นาที ในวันที่ 21 มิถุนายน 2538.....	71
55. แสดงค่าของ $R(h)$ ที่ใช้เวลาเก็บ 120 นาที ในวันที่ 7 กรกฎาคม 2538.....	71
56. แสดงค่าของ $R(h)$ ที่ใช้เวลาเก็บ 120 นาที ในวันที่ 28 สิงหาคม 2538.....	72
57. แสดงค่าของ $R(h)$ ที่ใช้เวลาเก็บ 120 นาที ในวันที่ 7 กันยายน 2538.....	72
58. แสดงค่าของ $R(h)$ ที่ใช้เวลาเก็บ 120 นาที ในวันที่ 18 ตุลาคม 2538.....	73
59. แสดงค่าของ $R(h)$ ที่ใช้เวลาเก็บ 120 นาที ในวันที่ 10 พฤศจิกายน 2538.....	73
60. แสดงค่าของ $R(h)$ ที่ใช้เวลาเก็บ 120 นาที ในวันที่ 20 ธันวาคม 2538.....	74
61. แสดงค่าของ $R(h)$ ที่ใช้เวลาเก็บ 120 นาที ในวันที่ 14 มกราคม 2538.....	74
62. แสดงค่าของ $R(h)$ ที่ใช้เวลาเก็บ 120 นาที ในวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539.....	75

บทที่ 1

บทนำ

แนวความคิดของวิทยานิพนธ์

งานวิจัยที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นเทคนิคการหาระดับความสูงของชั้นบรรยากาศ Troposphere หรือบางที่อาจเรียกชั้น Boundary layer ซึ่งเป็นชั้นบรรยากาศที่ต่ำสุดของชั้นบรรยากาศทั้งหมด โดยจะอาศัยเทคนิคของเลเซอร์เรดาร์มาใช้ในการหาระดับความสูงผสมกับการใช้เทคนิคของ Photon counting กล่าวคือโดยหลักการของระบบเรดาร์ จะเป็นการหาระยะทางของวัตถุ โดยอาศัยการคำนวณจากเวลาที่ใช้ในการเดินทางของคลื่น ไปกระทบวัตถุและสะท้อนกลับยังเครื่องรับ และในอากาศคลื่นที่ส่งไปจะสะท้อนจากอะไร คำตอบก็คือจะสะท้อนจากอะตอมหรือโมเลกุลและผลึกของอนุภาคต่างๆที่อยู่ในอากาศ และคลื่นสามารถสะท้อนจากอะตอมหรือโมเลกุลได้จริงหรือไม่ นั่นเป็นเหตุผลหนึ่งที่ต้องใช้แสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่นเป็นนาโนเมตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับขนาดอะตอมหรือโมเลกุลต่างๆ จึงสามารถเกิดการสะท้อนของคลื่นได้ และเมื่อมองอะตอมหรือโมเลกุลเป็นวัตถุที่ทำการสะท้อนคลื่น แต่ว่าโมเลกุลหรืออะตอมมีการเคลื่อนที่หรือแปรเปลี่ยนอยู่ตลอดเวลา ทำให้เกิดการชนกับกับคลื่นไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นจึงใช้เทคนิคของ Photon counting มาช่วยในการเก็บข้อมูล จึงสามารถหาค่าระดับความสูงของชั้นบรรยากาศได้

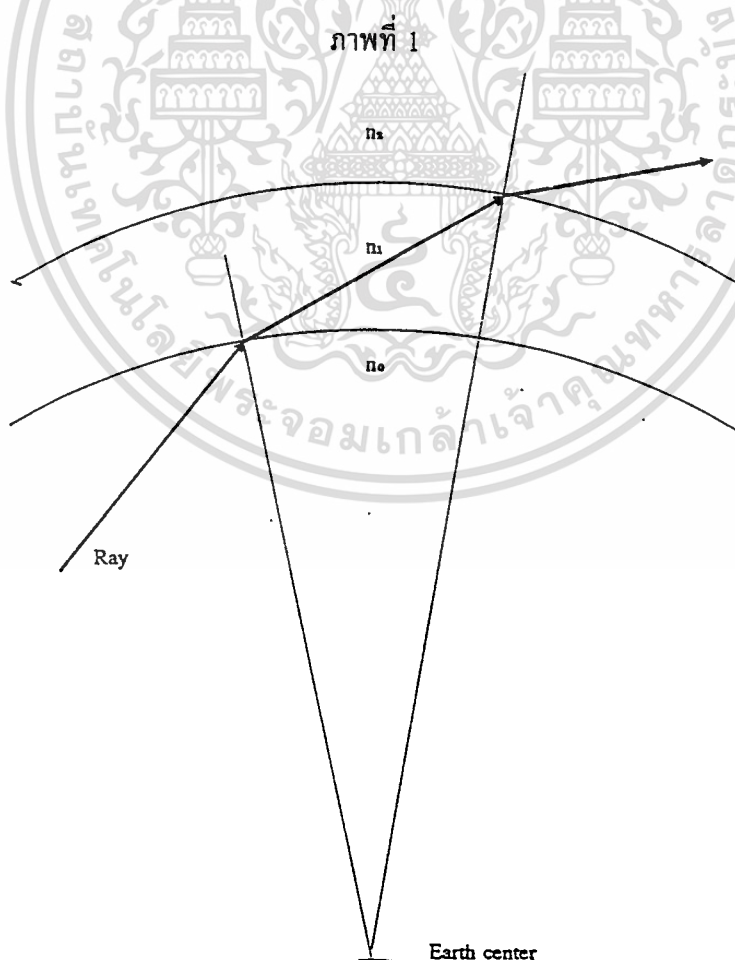
วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

สิ่งที่ได้กล่าวไปแล้วงานวิจัยที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นเทคนิคการหาระดับความสูงของชั้นบรรยากาศ Troposphere และที่สำคัญระดับความสูงของชั้นบรรยากาศในแต่ละตำแหน่งบนพื้นโลกมีค่าไม่เท่ากัน เนื่องจากพื้นผิวโลกได้รับพลังงานความจากแสงอาทิตย์ไม่เท่ากันในแต่ละจุดบนพื้นโลกทำให้ระดับความสูงของชั้นบรรยากาศที่เกิดจากสภาวะสมดุลระหว่างปริมาณความร้อนของผิวโลกที่มีการถ่ายเทให้กับอะตอมหรือโมเลกุลต่างๆที่อยู่ในอากาศ ดังนั้นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้ จะทำการหาค่าระดับความสูง ω . ที่ตั้งในประเทศไทยว่ามีค่าอยู่ระดับความสูงเท่าใด โดยปกติจะใช้ข้อมูลในภาพการประมาณค่าหรือเป็นค่าของประเทศอื่นๆมา โดยตลอด

ประโยชน์ที่จะได้รับจากวิทยานิพนธ์

ประโยชน์ที่จะได้รับหรือการนำข้อมูลไปใช้จากวิทยานิพนธ์นี้ คือสามารถรู้ระดับความสูงของชั้นบรรยากาศที่เป็นข้อมูลที่ต้องการ ซึ่งสามารถนำไป ใช้ในหลายๆด้าน เช่น ในระบบของการสื่อสารจะมีการแพร่คลื่น และเมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางสองตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหไม่เท่ากันเช่น n_0, n_1, n_2 หรือคลื่นที่ผ่านชั้นบรรยากาศที่แตกต่างกัน จะเกิดการหักเหของคลื่นขึ้นดังที่เห็นในภาพที่ 1



แสดงการหักเหของคลื่นเมื่อคลื่นที่ผ่านตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น มิได้อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในภาพที่ 1 [1] เมื่อทราบระยะทางในแต่ละตัวกลางหรือรู้ระยะทางในแต่ละชั้นบรรยากาศ และรู้ค่าดัชนีการหักเหในแต่ละตัวกลาง ก็สามารถคำนวณการหักเหของคลื่น ได้ถูกต้องยิ่งขึ้น หรือการนำไปใช้ในการแพร่คลื่น ที่อาจเป็นการแพร่คลื่นในลักษณะการอาศัยความแตกต่างของดัชนีการหักเห ซึ่งมีผลให้เป็นลักษณะของท่อนำคลื่นเพื่อส่งไปได้ไกลยิ่งขึ้น หรือในการคำนวณการสูญเสียของสัญญาณที่ขึ้นอยู่กับระยะทางในการสื่อสารให้ถูกต้องยิ่งขึ้น หรือในทางด้านเรดาร์ก็สามารถรู้ลักษณะของสัญญาณ Clutter ที่เกิดจากชั้นบรรยากาศเพื่อนำไปวิเคราะห์หาวัตถุที่แท้จริงต่อไปได้



บทที่ 2

โครงสร้างของชั้นบรรยากาศ และผลกระทบต่อการแพร่คลื่นในอากาศ

บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงส่วนประกอบต่าง ๆ ที่อยู่ในสถานะสมดุลไดนามิกในชั้นบรรยากาศต่าง ๆ ที่ห่อหุ้มโลกอยู่ว่ามีส่วนประกอบอะไรบ้าง และมีอัตราส่วนของแต่ละชนิดมากน้อยเพียงใด และในส่วนประกอบแต่ละอย่างมีค่ามากน้อยเพียงใดในแต่ละระดับความสูงต่าง ๆ ตลอดจนลักษณะของอุณหภูมิ และความดัน และความหนาแน่น เมื่อเปรียบเทียบกับระยะความสูงจากพื้นดินว่ามีค่าเปลี่ยนแปลงเป็นลักษณะใด และกล่าวถึงผลกระทบต่าง ๆ ต่อการแพร่คลื่นในอากาศ โดยพิจารณาถึงผลกระทบต่อ การแพร่คลื่นที่อยู่ในช่วงความถี่ ไมโครเวฟ อินฟราเรด ตลอดจนถึงความถี่แสงที่สายตาคมนมองเห็นว่ามีผลกระทบอย่างไร เมื่อทำการแพร่คลื่นในตัวกลางที่เป็นอากาศ

ชั้นบรรยากาศ

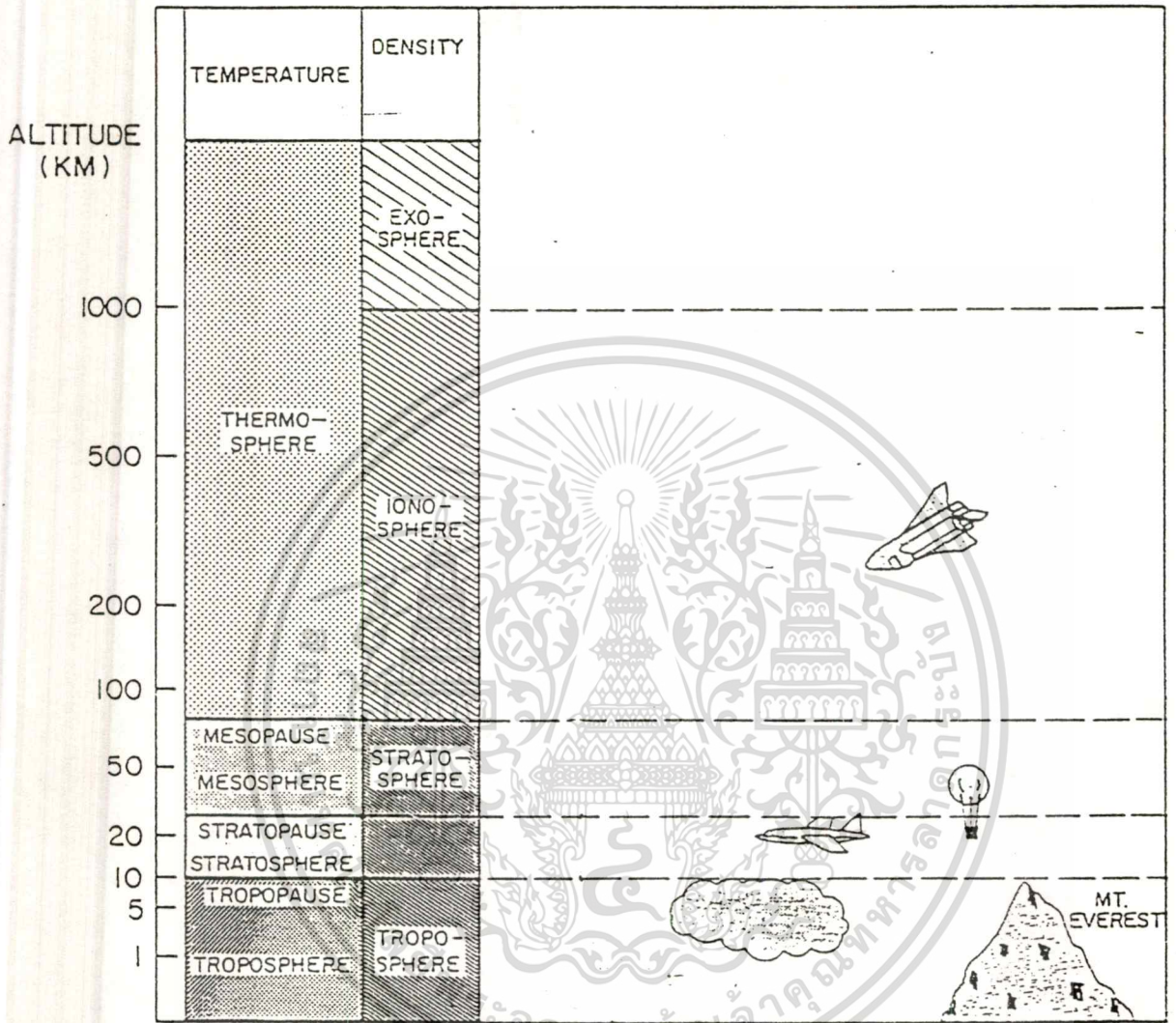
เป็นที่ทราบกันดีว่า อะตอมหรือโมเลกุลของก๊าซต่าง ๆ ที่ห่อหุ้มโลกอยู่ทุกวันนี้ สามารถแบ่งออกเป็น 4 ชั้นบรรยากาศใหญ่ ๆ ดังที่เห็นในรูปที่ 2

ชั้นบรรยากาศ Troposphere

ดังที่เห็นในรูปที่ 2 ที่แสดงถึงการแบ่งชั้นบรรยากาศต่าง ๆ โดยชั้นที่อยู่บริเวณพื้นโลก จะเป็นชั้นบรรยากาศ Troposphere หรืออาจจะเรียกว่า Boundary Layer ซึ่งมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับชั้นการดำรงชีวิตประจำวันมากที่สุด ซึ่งมีระยะความสูงเมื่อเทียบกับพื้นดินประมาณ 7-18 km [2] โดยที่ระยะความสูงของชั้นบรรยากาศ Troposphere นี้มีค่าแตกต่างกันไปในแต่ละตำแหน่งต่าง ๆ บนพื้นโลก เช่นในประเทศแถบยุโรป [11] จะมีระดับความสูงอยู่ประมาณ 8-10 km

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 2



แสดงโครงสร้างของชั้นบรรยากาศ

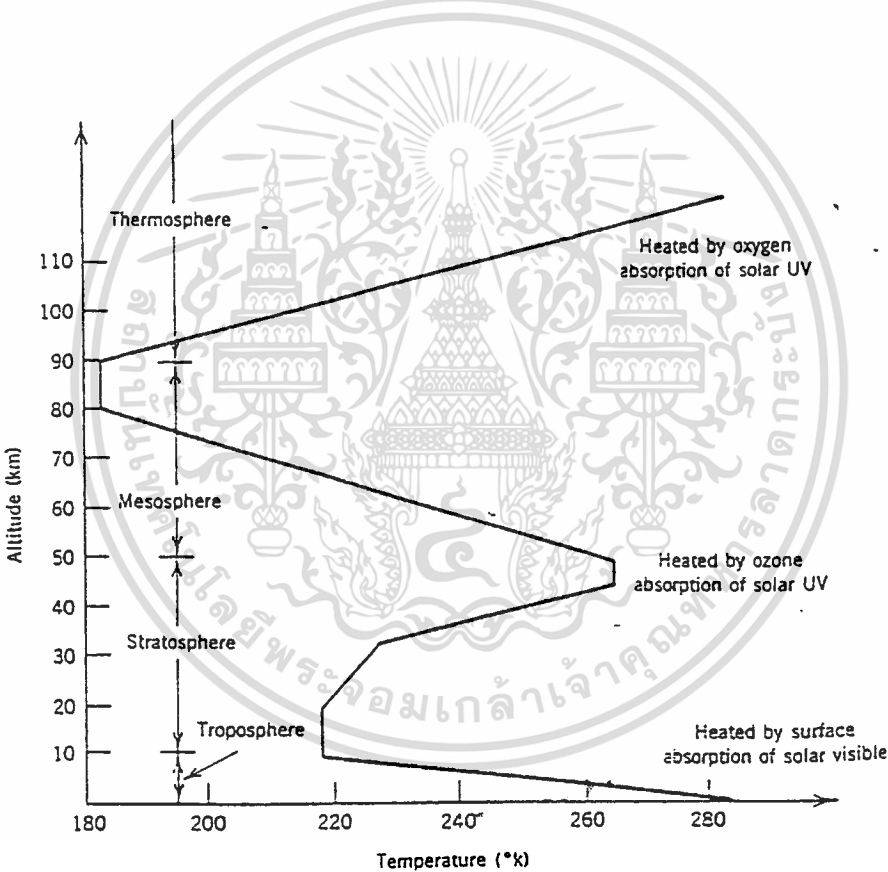
และในวิทยานิพนธ์นี้ จะทำการหาค่าที่ตำแหน่งที่ตั้งของประเทศไทย ลักษณะการแบ่งของชั้นบรรยากาศจะอาศัยจุดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ หรืออาจจะแบ่งตามส่วนประกอบของประจุไฟฟ้า ดังที่เห็นได้ในภาพที่ 2 และในการแบ่งโดยอาศัยจุดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ สามารถแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ ที่แปรเปลี่ยนตามระยะทางความสูง กับชั้นบรรยากาศต่าง ๆ ดังที่เห็นในภาพที่ 3 โดยจะเห็นว่า ลักษณะของอุณหภูมิมักจะลดลงแต่จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนชั้นบรรยากาศ และเมื่อถึงรอยต่อ ของชั้นบรรยากาศต่อไป อุณหภูมิกลับเพิ่มขึ้นอีก และในทางทฤษฎีระหว่างช่วงรอยต่อจะเป็นลักษณะที่อุณหภูมิมียค่าคงที่ แต่ในทางความเป็นจริงจะมีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยจะเห็นวาระหว่างรอยต่อของชั้นบรรยากาศ Troposphere กับ Stratosphere จะมีอุณหภูมิที่คงที่ซึ่งเราจะเรียกบริเวณนี้ว่า Tropopause ซึ่งบริเวณนี้ในทางทฤษฎีจะมีลักษณะความสมดุลหยุดนิ่ง (static) ทุกอย่างจะคงที่

และลักษณะของส่วนประกอบต่างๆในบริเวณนี้จะประกอบไปด้วย ผลึกของน้ำ และผลึกของสารต่าง ๆ อยู่ทั่วบริเวณนี้ และในชั้นบรรยากาศ Troposphere เป็นชั้นบรรยากาศที่เราใช้ดำรงชีวิต อยู่ โดยในชั้นบรรยากาศนี้จะประกอบไปด้วยก๊าซชนิดต่าง ๆ (ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อที่ 2.2) รวมไปถึงฝุ่นละออง และมลภาวะที่มาจากแหล่งต่าง ๆ ตลอดจน เมฆฝน ไอน้ำ หมอก หิมะ จะอยู่ในชั้นบรรยากาศนี้ทั้งสิ้น

ภาพที่ 3



แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ ที่แปรเปลี่ยนตามระยะทางความสูง กับชั้นบรรยากาศต่าง ๆ

ชั้นบรรยากาศ Stratosphere

ในชั้นบรรยากาศ Stratosphere จะต่อจากชั้นบรรยากาศ troposphere ดังที่เห็นในภาพที่ 2 โดยส่วนบนสุดจะเรียกว่า Stratopause โดยบริเวณนี้จะมีลักษณะของอุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามระยะทางความสูง และมีระดับความสูงเมื่อเทียบกับพื้นโลกอยู่ประมาณ 20-40 กิโลเมตร ในชั้นบรรยากาศ Stratosphere นี้ จะประกอบไปด้วยก๊าซโอโซน (O_3) เป็นส่วนมาก และยังมีก๊าซชนิดอื่น ๆ อยู่บ้าง รวมไปถึง Aerosol ต่าง ๆ ซึ่งส่วนใหญ่มาจากการระเบิดของภูเขาไฟ ดังเช่นการระเบิดของภูเขาไฟ Pinatubo ในประเทศ ฟิลิปปินส์ เมื่อวันที่ 15 มิถุนายน 1991 ซึ่งได้พ่นผงเถ้าถ่านประมาณ 20-30 เมกะตันออกสู่ชั้นบรรยากาศ และผลการวัดที่ประเทศญี่ปุ่น [12] ที่ใช้เทคนิคของ Laser Radar ปรากฏว่ามีปริมาณของ Aerosol เพิ่มขึ้นหลังจากภูเขาไฟระเบิดได้ประมาณ 4 เดือน และได้มีการวัดที่จุดอื่น ๆ บนโลกพร้อมเพียงกัน หลังจากภูเขาไฟระเบิด ซึ่งพบว่ามีมีการกระจายผงเถ้าถ่านหรือสารเคมีต่าง ๆ ที่ระเบิดออกมาครอบคลุมอยู่ในชั้นบรรยากาศ Stratosphere อยู่เป็นบริเวณกว้าง และ Aerosol อาจมาจากสาร CFC ที่ลอยขึ้นมาจากชั้นบรรยากาศ Troposphere และสาร Aerosol เหล่านี้จะมีผลต่อโอโซนในชั้นบรรยากาศนี้ โดยจะทำการแยกโอโซน ออกให้กลายเป็นออกซิเจน ซึ่งทำให้ปริมาณของโอโซนลดลง ซึ่งทำให้รังสีของดวงอาทิตย์ส่งผ่านเข้ามาถึงพื้นโลก ซึ่งมีผลต่ออุณหภูมิของโลกที่เพิ่มขึ้นด้วย

ชั้นบรรยากาศ Mesosphere และ Thermosphere

Mesosphere และ Thermosphere ในช่วงชั้นบรรยากาศของ Mesosphere และ Thermosphere นี้ มีระดับความสูงอยู่เหนือจากพื้นดิน 40 กิโลเมตรขึ้นไป โดยบริเวณชั้นบรรยากาศนี้จะประกอบไปด้วย อีออน ของโมเลกุลต่าง ๆ ที่เกิดจากการได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ ทำให้โมเลกุล หรือก๊าซต่าง ๆ แยกตัวเป็น อีออน ซึ่งในช่วงชั้นบรรยากาศนี้ ในการแบ่งชั้นบรรยากาศโดยประจุไฟฟ้า จะเรียกว่าชั้น Ionosphere ดังที่เห็นในภาพที่ 2 หรือถ้าแบ่งตามอุณหภูมิ จะมีลักษณะของอุณหภูมิลดลงที่บริเวณชั้นบรรยากาศ Mesosphere และ จะเริ่มเพิ่มขึ้นบริเวณ จุดต่อกับชั้นบรรยากาศ Thermosphere และในชั้นบรรยากาศ Thermosphere จะมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิตามระยะทางความสูง

ส่วนประกอบต่าง ๆ ในบรรยากาศ

ในอากาศมีอะตอมหรือโมเลกุลของก๊าซและส่วนผสมต่าง ๆ อยู่มาก โดยมีโครงสร้างที่สลับซับซ้อน ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ เป็นดังนี้

โมเลกุลของก๊าซชนิดต่าง ๆ

ในอากาศจะมีโครงสร้างพื้นฐาน คือประกอบไปด้วยอะตอม หรือโมเลกุลของก๊าซชนิดต่าง ๆ โดยอัตราส่วนที่แตกต่างกัน โดยสามารถแสดงให้เห็นในตารางที่ 1

ตารางที่ 1

Molecule	Average Concentration (Volume Fraction)
N ₂	0.78084
O ₂	0.20946
H ₂ O	1.3×10^{-7} to 4.5×10^{-2}
CO ₂	3.18×10^{-4} [3.30×10^{-4}]
CH ₄	$(1-1.4) \times 10^{-6}$ [1.6×10^{-6}]
H ₂	5×10^{-7} ^b
CO	$(0.5-2.5) \times 10^{-7}$ [0.75×10^{-7}]
O ₃	$(2-7) \times 10^{-8}$
N ₂ O	$(2.7-3.5) \times 10^{-7}$ [2.8×10^{-7}]
NO	10^{-8} - 10^{-6}
NO ₂	10^{-9} - 10^{-6}
HNO ₃	2.8×10^{-9}
NH ₃	$\leq 10^{-4}$
SO ₂	$(0.5-7.2) \times 10^{-9}$
H ₂ S	$(1.6-16) \times 10^{-9}$
HCHO	$\leq 10^{-7}$
HCl	$(1-2.6) \times 10^{-9}$
NO ₃ , OH, HO ₂ , CH ₃ O	5×10^{-11}

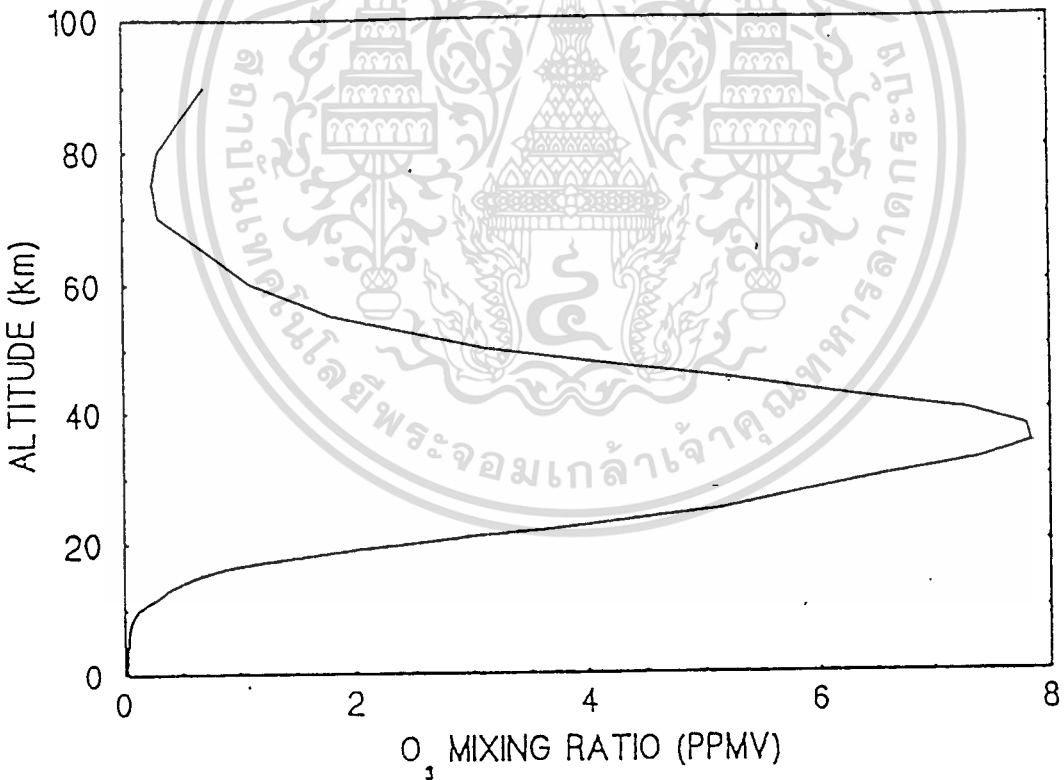
แสดงอัตราส่วนผสมของก๊าซในอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากในตารางที่ 1 ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่า อะตอมหรือโมเลกุลของก๊าซในอากาศ ส่วนใหญ่ ประกอบไปด้วย ไนโตรเจน และออกซิเจน และที่สำคัญปริมาณของอะตอมหรือโมเลกุลของก๊าซมี ค่าไม่เท่ากัน ในแต่ละระดับความสูงหนึ่ง ๆ ดังเช่นปริมาณของโอโซนที่ทำกรวัดในเอกสารอ้างอิง ที่ [13] จะมีจำนวนมากที่ระดับชั้นบรรยากาศ Stratosphere ดังที่แสดงให้เห็นในภาพที่ 4 หรือเช่น ปริมาณของ N_2O ในเอกสารอ้างอิงที่ [3] จะมีจำนวนมาก อยู่บริเวณชั้นบรรยากาศ Troposphere และที่ระดับสูงขึ้นไปจะมีจำนวนลดลง ดังที่แสดงให้เห็นในภาพที่ 5 ซึ่งค่าเหล่านี้สามารถหาได้ โดยใช้เทคนิคของ Laser Radar หรือ Lidar ชนิดต่างๆ ซึ่งจะได้กล่าวถึงเทคนิคต่างๆ ในบทที่ 4

ภาพที่ 4



แสดงความหนาแน่นของโอโซนกับระยะความสูงจากพื้นดิน

ภาพที่ 5



แสดงความหนาแน่นของ N_2O กับระยะความสูงจากพื้นดิน

Aerosol และฝุ่นละอองต่าง ๆ

ลักษณะของกลุ่มที่สองจะเป็นฝุ่นละอองหรือสารประกอบ Aerosol ที่เกิดจากสารมลภาวะเป็นพิษที่มาจากแหล่งต่างๆ ซึ่งเมื่อลอยขึ้นไปในชั้นบรรยากาศต่างๆ และรวมตัวกันเป็นสารประกอบชนิดต่างๆ โดยที่สารประกอบของ Aerosol และฝุ่นละอองต่างๆจะมีขนาดใหญ่กว่าอะตอมหรือโมเลกุลของก๊าซ ซึ่งมีผลต่อการลดทอนของคลื่น โดยเฉพาะช่วงคลื่นอินฟราเรดและช่วงที่สายตากคนสามารถมองเห็น โดยสารประกอบ Aerosol มีมากมายหลายชนิดขึ้นกับบริเวณแหล่งที่มา และในตารางที่ 2 แสดงตัวอย่างของชนิด Aerosol ต่างๆ [4]

ตารางที่ 2

SiO_2	$\text{K}_2\text{Sn}(\text{SO}_4)_2$
CaCO_3	$(\text{NH}_4)_2\text{Co}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	$(\text{NH}_4)_3\text{H}(\text{SO}_4)_2$ (Ictovite)
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$3(\text{NH}_4\text{NO}_3) \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
$(\text{NH}_4)_2\text{Pb}(\text{SO}_4)_2$	$2(\text{NH}_4\text{NO}_3) \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
$(\text{NH}_4)_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	$\text{NH}_4\text{MgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
$(\text{NH}_4)\text{HSO}_4$	NaCl
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	$(\text{NH}_4)_2\text{Ni}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

แสดงตัวอย่างของชนิด Aerosol ต่างๆ

น้ำ ไอ น้ำ เมฆ หมอก หิมะ เกล็ดน้ำแข็ง

เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าโลกประกอบไปด้วยน้ำ เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้น ในอากาศ จึงมี ไอน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะในชั้นบรรยากาศของ Boundary Layer และไอน้ำเหล่านี้ สามารถแปรเปลี่ยน เป็นเมฆ ชนิดต่าง ๆ และแปรเปลี่ยนเป็นหมอก หิมะ น้ำแข็ง แล้วแต่สภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ในพื้นที่หนึ่ง ๆ

ความหนาแน่นและขนาดของอนุภาคต่าง ๆ ที่อยู่ในบรรยากาศ

ลักษณะความหนาแน่นของอะตอมหรือโมเลกุลของก๊าซรวมทั้งหมอกที่มีอยู่ในอากาศจะมีการแปรผันกับความดันและแปรผกผันกับอุณหภูมิ โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

จากสูตรความสัมพันธ์

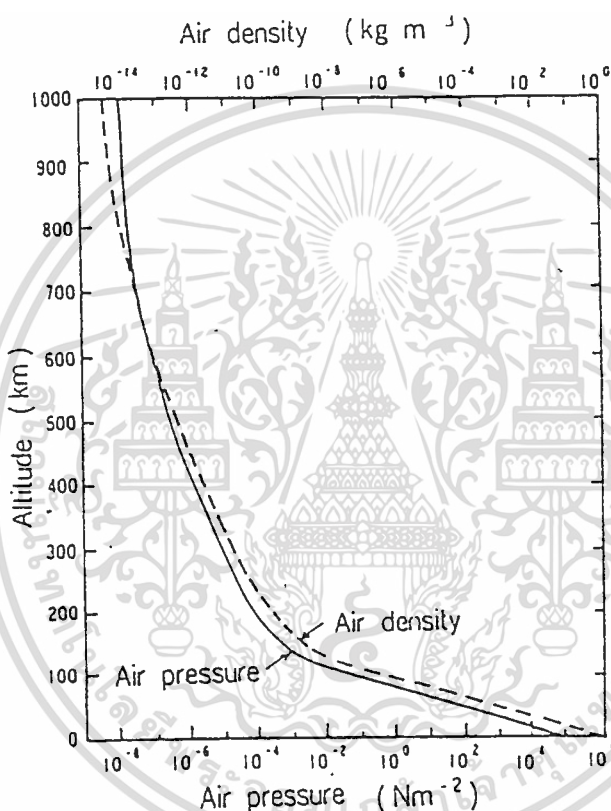
$$PV = nRT$$

$$n/V = N = P/RT$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้โดยที่ N เป็นความหนาแน่นต่อปริมาตรให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยความสัมพันธ์ของความหนาแน่นกับระยะทางความสูง จะมีลักษณะเป็นเชิงเส้นดังที่เห็นในภาพที่ 6 โดยจะเห็นว่าจะมีลักษณะเป็นเชิงเส้นที่บริเวณความสูงต่ำกว่า 100 กิโลเมตร และเมื่อเลยระยะความสูงนี้ขึ้นไป ความหนาแน่นจะลดลงอย่างรวดเร็ว

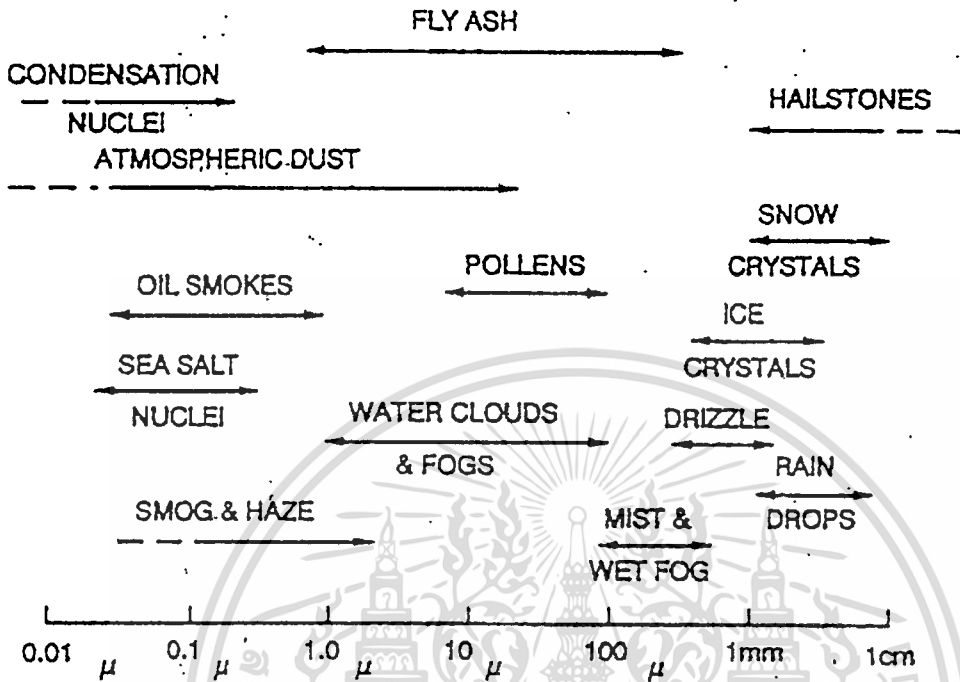
ภาพที่ 6



แสดงความสัมพันธ์ของความหนาแน่นกับระยะทางความสูง

และจะเห็นได้ว่าสิ่งที่กล่าวมาก่อนหน้านี้มี อะตอม โมเลกุล และอนุภาค มากมายหลากหลายชนิดปะปนกันอยู่ในอากาศโดยที่อนุภาคเหล่านี้ จะมีขนาดที่แตกต่างกันออกไป โดยสามารถแสดงให้เห็นได้ในภาพที่ 7 [7]

ภาพที่ 7



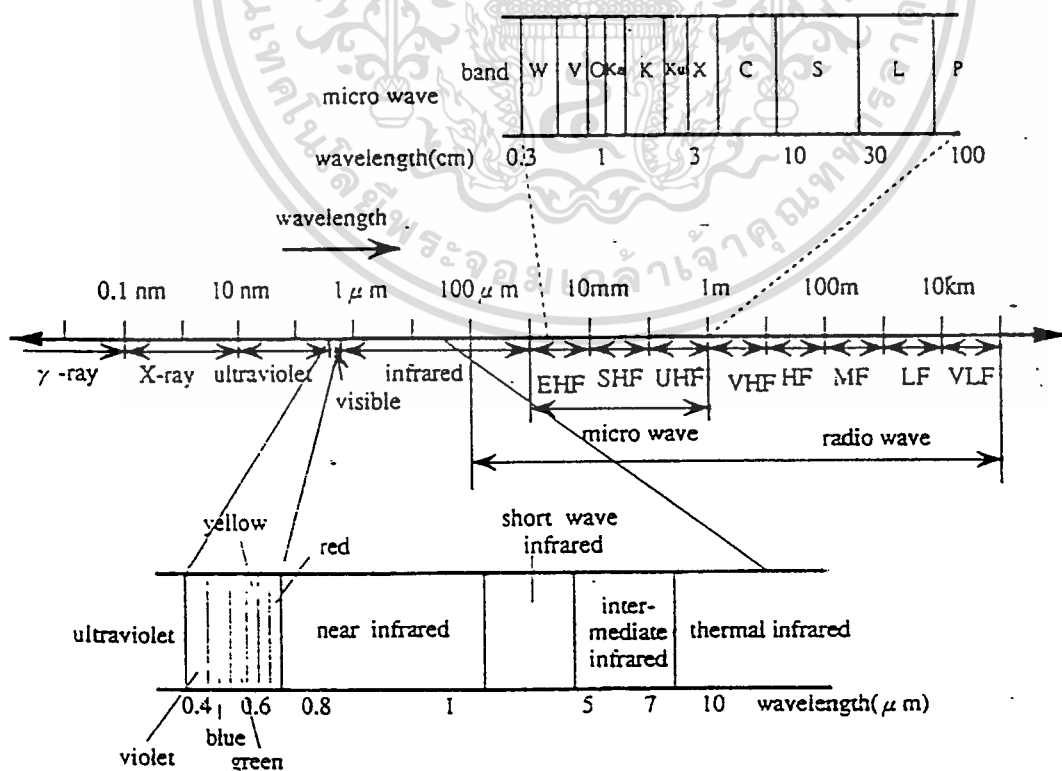
แสดงขนาดของอนุภาคต่างๆ ในอากาศ

ผลกระทบในการแพร่คลื่นที่มีความถี่ต่าง ๆ ในตัวกลางที่เป็นอากาศ

ในการแพร่คลื่นในตัวกลางที่เป็นอากาศที่มีอนุภาคอยู่มากมาย ก่อเกิดผลกระทบที่สำคัญของคลื่น ซึ่งผลกระทบยังขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นที่แพร่ในอากาศอีกด้วย และในที่นี้จะพิจารณาความถี่ผ่าน ไมโครเวฟ ขึ้นไปซึ่งจะมีผลกระทบที่สำคัญคือ การดูดกลืน และการกระเจิงของคลื่น โดยเกิดจากโมเลกุลของก๊าซชนิดต่าง ๆ เมฆ, ฝน, หมอก, หิมะ ส่งผลให้เกิดการลดทอนของสัญญาณ ซึ่งมีผลแตกต่างกันไปในแต่ละช่วงความถี่ที่ใช้งาน โดยช่วงของความถี่สามารถแบ่งได้ดังที่เห็นในภาพที่ 8 [6]

ภาพที่ 8

class		wavelength	frequency	
ultraviolet		100Å ~ 0.4 μm	750 ~ 3,000THz	
visible		0.4 ~ 0.7 μm	430 ~ 750THz	
infrared	near infrared	0.7 ~ 1.3 μm	230 ~ 430THz	
	short wave infrared	1.3 ~ 3 μm	100 ~ 230THz	
	intermediate infrared	3 ~ 8 μm	38 ~ 100THz	
	thermal infrared	8 ~ 14 μm	22 ~ 38THz	
	far infrared	14 μm ~ 1mm	0.3 ~ 22THz	
radio wave	submillimeter		0.1 ~ 1mm	0.3 ~ 3THz
	micro wave	millimeter (EHF)	1 ~ 10mm	30 ~ 300GHz
		centimeter (SHF)	1 ~ 10cm	3 ~ 30GHz
		decimeter (UHF)	0.1 ~ 1m	0.3 ~ 3GHz
	very short wave (VHF)		1 ~ 10m	30 ~ 300MHz
	short wave (HF)		10 ~ 100m	3 ~ 30MHz
	medium wave (MF)		0.1 ~ 1km	0.3 ~ 3MHz
long wave (LF)		1 ~ 10km	30 ~ 300kHz	
very long wave (VLF)		10 ~ 100km	3 ~ 30kHz	



แสดงการแบ่งคลื่นออกเป็นช่วงคลื่นต่างๆ

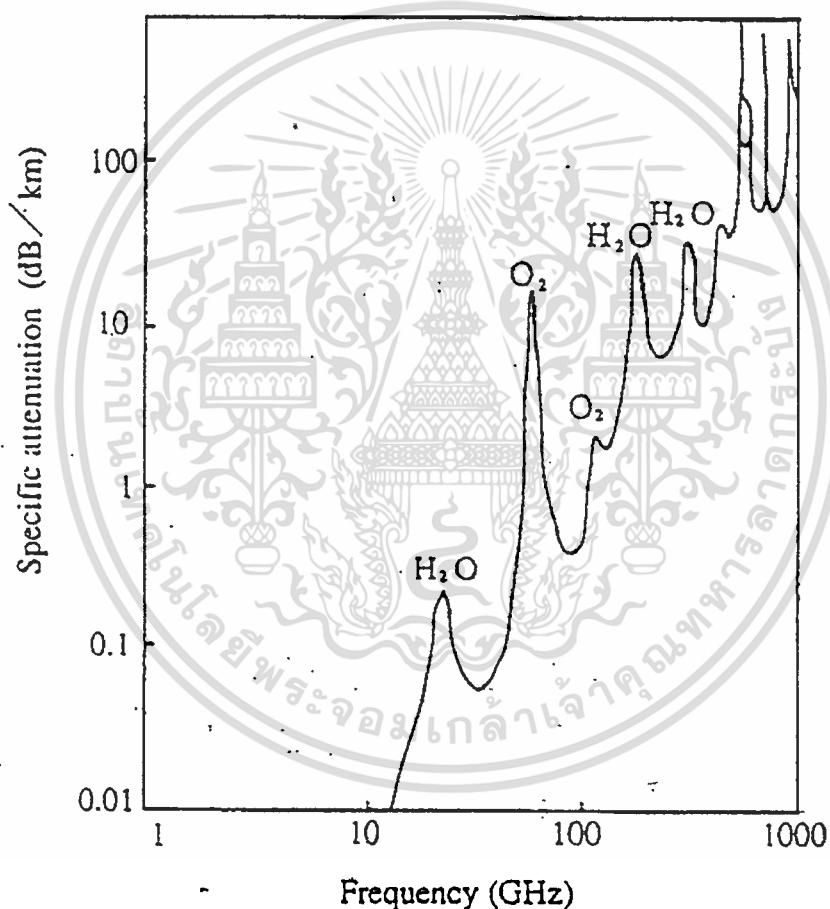
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การลดทอนของคลื่น เรดิโอ เวก์ ช่องความถี่ไมโครเวฟ

ในช่วงความถี่ไมโครเวฟซึ่งมีค่าอยู่ประมาณ 3-300 GHz จะมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงมิลลิเมตร ถึงเซนติเมตร. ซึ่งความถี่ที่อยู่ระหว่างค่านี้อาจจะมีผลกระทบกับอนุภาคในอากาศ โดยเฉพาะ H_2O และ O_2 ทำให้มีผลในการลดทอนเพิ่มขึ้น เมื่อความถี่สูงขึ้นดังที่เห็นในภาพที่ 9

ภาพที่ 9

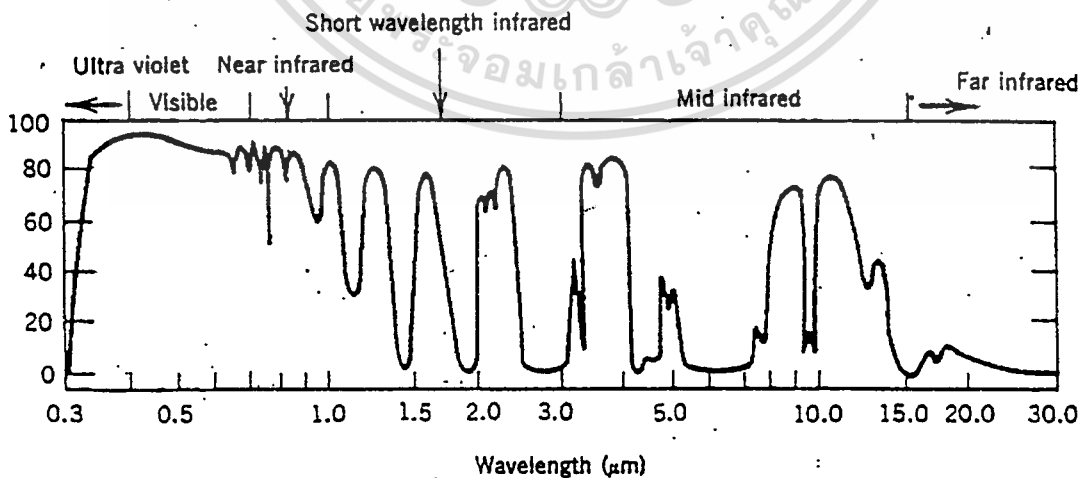


แสดงการลดทอนของคลื่น เรดิโอ เวก์ ช่องความถี่ไมโครเวฟ

การลดทอนของคลื่นในช่วง อินฟราเรด และ Visible

คลื่นในช่วงนี้มีผลการลดทอนสูงมาก เนื่องจาก ความยาวคลื่น ของคลื่นอินฟราเรด และ Visible จะมีค่า ใกล้เคียงกับขนาดของอะตอม โมเลกุล หรืออนุภาคต่าง ๆ ที่อยู่ในอากาศดังที่ได้กล่าวมาแล้ว และเนื่องจาก ความยาวคลื่น ของคลื่นอินฟราเรด และ Visible มีค่าใกล้เคียงกับขนาดของอะตอม โมเลกุล หรืออนุภาคต่าง ๆ ที่อยู่ในอากาศ ซึ่งมีผลทำให้เกิดการกระเจิงของคลื่นโดยทั่วไปแล้ว คลื่นแสงจะเดินทางผ่านบรรยากาศ ทำให้เกิดการซึมซับและสะท้อนกลับของคลื่น และเกิดการกระเจิงจากอะตอม โมเลกุล ของก๊าซต่าง ๆ และเข้าสู่สายตารเรา และช่วงคลื่นแสงสีฟ้าจะมีผลต่อการกระเจิงมากที่สุด ทำให้เห็นท้องฟ้าเป็นสีฟ้า หรือในเหตุการณ์ เวลาตกเย็น เราจะเห็นท้องฟ้าเป็นสีแดง เนื่องจากปริมาณของอนุภาคโดยเฉพาะฝุ่นละอองในชั้นบรรยากาศ Troposphere จะทำการสะท้อนความถี่ที่มีค่ามากกว่าแสงสีแดง หรือความยาวคลื่นน้อยกว่า ความยาวคลื่นของแสงสีแดง คลื่นเหล่านี้จะถูกสะท้อนทำให้ไม่สามารถผ่านมาได้ ทำให้เราเห็นท้องฟ้าเป็นสีแดง ในตอนเย็น และผลประโยชน์อย่างหนึ่งของการซึมซับและสะท้อนกลับของคลื่นจากอะตอมหรือโมเลกุลต่าง ๆ ช่วยทำการยับยั้งรังสีความร้อน รังสีอัลตราไวโอเล็ต ไม่ให้เข้ามาสู่พื้นโลก ดังนั้น คลื่นช่วงอินฟราเรดและ Visible จะมีผลการลดทอนมาก โดยมีค่าแตกต่างกันในแต่ละความถี่ โดยสามารถแสดงให้เห็นดังในภาพที่ 10

ภาพที่ 10



แสดงการลดทอนของคลื่นในช่วง อินฟราเรด และ Visible

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ระบบเซ็นเซอร์ และเรดาร์ชนิดต่างๆ

บทนำ

ในบทที่ผ่านมาได้กล่าวถึงรายละเอียดต่าง ๆ ของชั้นบรรยากาศรวมไปถึงผลการแพร่คลื่นในช่วงความถี่ต่าง ๆ ว่ามีสถานะการลดทอนเป็นอย่างไร และในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการทำงานของเรดาร์ และระบบเซ็นเซอร์ต่าง ๆ ที่ใช้งานทางด้าน เรดาร์ โดยลักษณะของเซ็นเซอร์ในแต่ละช่วงความถี่ ก็จะมีคุณสมบัติเหมาะสมในการใช้งานในสถานการณ์ใดสถานการณ์หนึ่ง ปกติแล้วสามารถแบ่งระบบเซ็นเซอร์ได้หลายรูปแบบ และในรูปแบบหนึ่งที่ยอมรับในการใช้งานทางด้านเรดาร์คือการแบ่งตามความถี่ที่ใช้งานซึ่งสามารถแบ่งได้ออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่ ๆ ได้ดังที่เห็นในภาพที่ 11

ภาพที่ 11



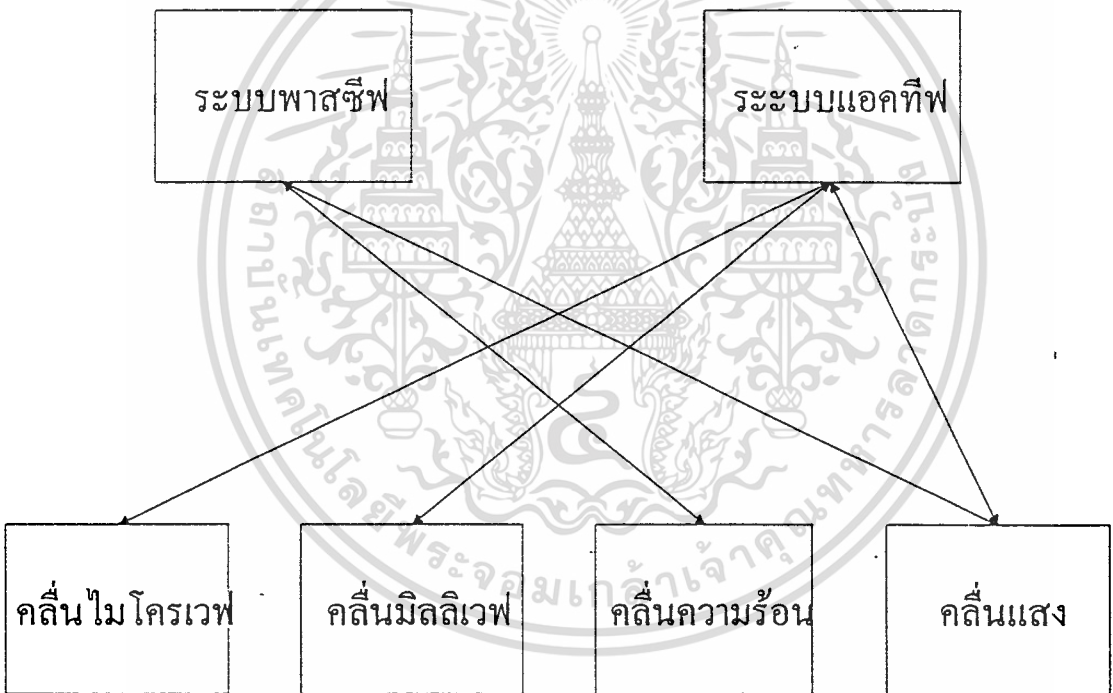
แสดงการแบ่งระบบของเซ็นเซอร์

ระบบเซนเซอร์

ในการนำเซนเซอร์ที่ช่วงความถี่ต่าง ๆ มาใช้งานในแต่ละชนิดของเซนเซอร์ มีข้อดี ข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของงานที่จะมาประยุกต์ใช้ แต่อย่างไรก็ตามสามารถแบ่งแยกลักษณะของเซนเซอร์ ได้เป็นสองลักษณะใหญ่ ๆ คือ แบ่งตามช่วงความถี่ที่ใช้งาน หรือแบ่งเป็นลักษณะการทำงานแบบพาสซีฟ และแอคทีฟ โดยสามารถแสดงในภาพที่ 12

ภาพที่ 12

การแบ่งแบบลักษณะการทำงาน



แสดงการแบ่งเป็นพาสซีฟ และ แอคทีฟ

ระบบพาสซีฟ และแอคทีฟ

ในการแบ่งระบบออกเป็นพาสซีฟ และแอคทีฟ จะยึดหลักการทำงานของระบบที่แตกต่างกันออกไป กล่าวคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบพาสซีฟ การทำงานของระบบจะเป็นการรับคลื่นที่มาจาก แหล่งต่าง ๆ ที่ต้องการจะตรวจจับ เช่นการรับคลื่นความร้อน เมื่อการตรวจจับหรือการสร้างภาพ ด้วยคลื่น ความร้อนในระบบ Thermal Image การถ่ายภาพโดยอาศัยแสงตกกระทบวัตถุ และสะท้อนเข้ามาในระบบ เช่นการถ่ายภาพ ถ่ายวีดิโอ ตลอดจนการตรวจจับรังสีที่แพร่ออกมาจากวัตถุต่าง ๆ

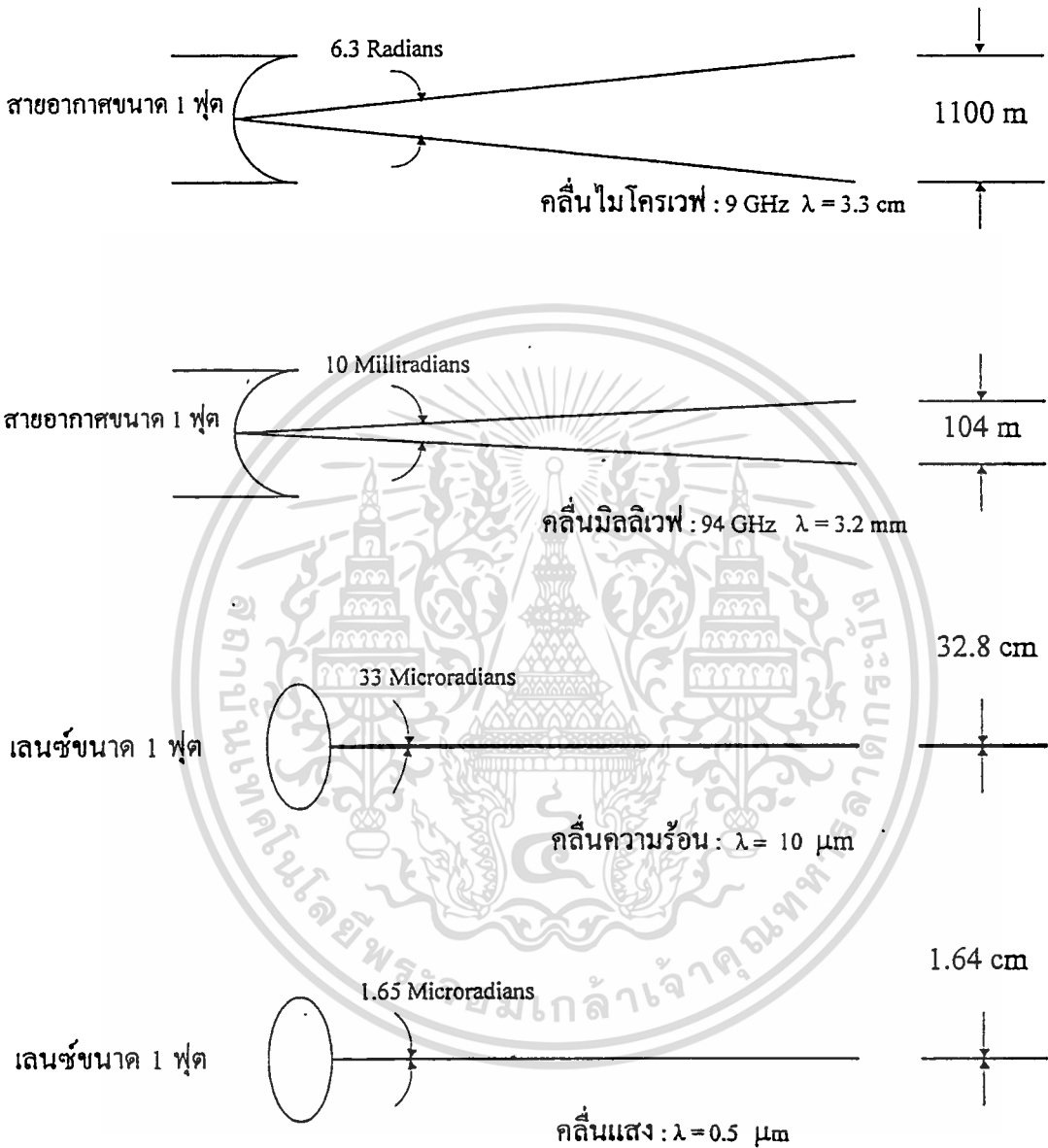
ระบบแอกทีฟ ในการทำงานของระบบแอกทีฟ จะแตกต่างกับระบบพาสซีฟ โดยที่ว่า ระบบแอกทีฟ จะทำการส่งคลื่นที่ความถี่ที่ใช้งานออกไปและรับสัญญาณ ซึ่งอาจเป็นการสะท้อนกลับมาจากวัตถุ หรือรับสัญญาณเมื่อมีการลดทอนเมื่อผ่านตัวกลางใด ตัวกลางหนึ่ง และในระบะแอกทีฟ มีตัวส่งคลื่นและรับคลื่น เมื่อตัวส่งคลื่นและรับคลื่นอยู่สถานที่เดียวกันจะมีชื่อเรียกเป็น Monostatic และถ้าตัวส่งคลื่นและรับคลื่นอยู่สถานที่เดียวกันจะมีชื่อเรียกเป็น Bistatic

ระบบเซ็นเซอร์ในช่วงความถี่ต่างๆ

ในการแบ่งระบบเซ็นเซอร์ ตามลักษณะความถี่ที่ใช้งาน ก็สามารถแบ่งได้เป็น 4 ช่วงดังที่เห็นในภาพที่ 11 และ ภาพที่ 12 ซึ่งจะมีลักษณะหรือคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละย่านความถี่ โดยมีคุณลักษณะที่น่าสนใจอยู่ 2 อย่างคือ

1. ลักษณะของการบานออกของแนวการแพร่คลื่น หรือที่เรียกว่าบีมไดเวอร์เจนซ์ ซึ่งจะมีความถี่ที่แตกต่างกันออกไปดังภาพที่ 13 โดยในภาพที่ 13 แสดงถึงการทดสอบที่ระยะทางเท่ากัน[8] และสนใจที่เมนูปู่เท่านั้น โดยจะเห็นว่า เมื่อเปรียบเทียบกันลักษณะของการบานออกของบีมที่ความถี่ต่ำกว่า จะมีลักษณะลำบีมที่กว้าง กว่าลำบีมของระบบที่ความถี่สูง และเมื่อถึงความถี่แสงเมื่อใช้เลเซอร์ เป็นแหล่งกำเนิดคลื่น ลักษณะบีมจะมีการบานออกน้อยมาก เมื่อเทียบกับระยะทางที่เท่ากันในแต่ละระบบ และการที่ค่าบีมไดเวอร์เจนซ์น้อย จะทำให้การกวาดหรือสะแกนมีค่าความละเอียดสูงขึ้น (High Angular Resolution) ในแต่ละระบบก็มีความเหมาะสมที่จะใช้งาน แตกต่างกันไป เช่น ช่วงคลื่นไมโครเวฟ มีความกว้างของลำบีมมาก ซึ่งในระบบเรดาร์สามารถกวาดหาเป้าหมายได้อย่างรวดเร็ว แต่ถ้าจะระบุตำแหน่งที่แน่นอน ก็ควรจะใช้ระบบที่ความถี่สูงขึ้น โดยเฉพาะถ้าใช้แสงเลเซอร์จะให้ความแม่นยำที่สูงมาก เนื่องจากมีลำบีมที่แคบและบานออกน้อยสามารถกำหนดเป้าหมายที่แน่นอน ดังที่นำไปใช้ในการนำวิถีต่าง ๆ

ภาพที่ 13



แสดงลักษณะของบีมที่ช่วงความถี่ต่างๆ

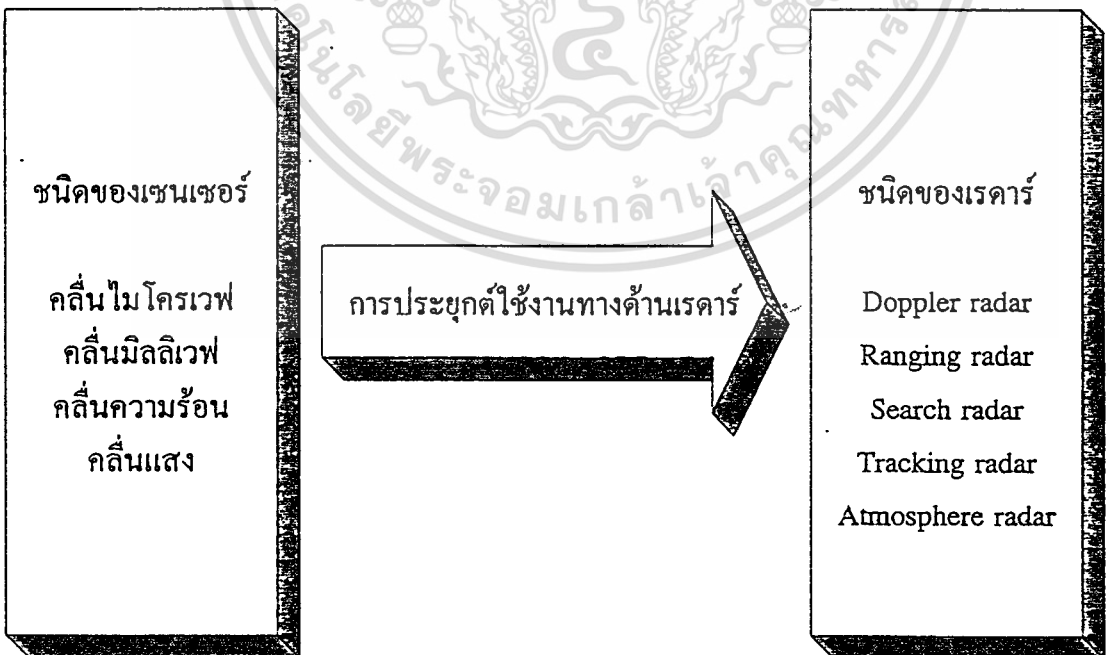
2. การลดทอนของคลื่น การที่จะนำเซนเซอร์เหล่านี้ไปใช้งาน สิ่งที่ต้องคำนึงถึงอีกอย่างหนึ่ง คือ สภาพแวดล้อมที่จะเป็นตัวกำหนดการลดทอนของคลื่นที่ความถี่ต่าง ๆ โดยปกติ เซนเซอร์เหล่านี้ ที่ใช้ในการแพร่คลื่นในตัวกลางที่เป็นอากาศ สามารถแสดงการลดทอน ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบเรดาร์

จะพบว่าสามารถนำเซนเซอร์ต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้งานทางด้านเรดาร์ ได้หลากหลายวัตถุประสงค์ตามที่ต้องการ และถ้านำเซนเซอร์ย่านความถี่ไหนมาประยุกต์ ใช้งานทางด้านเรดาร์ ซึ่งจะนิยมเรียกผ่านความถี่ของเซนเซอร์ชนิดนั้น ขึ้นหน้าเป็นระบบของเรดาร์ เช่น ไมโครเวฟเรดาร์ มิลลิเวฟเรดาร์ เลเซอร์เรดาร์ แต่อย่างไรก็ตาม ชื่อของเรดาร์อาจเรียกตามวัตถุประสงค์ในการใช้งาน เช่น คอปเปอร์เรดาร์ Tracking เรดาร์ Search radar เป็นต้น และสามารถแสดงให้เห็นดังภาพที่ 14 และในภาพที่ 14 จะเห็นว่าระบบเซนเซอร์เหล่านี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านเรดาร์ ได้หลากหลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่จะนำไปใช้งาน และโดยพื้นฐานของระบบเรดาร์ คือ การคำนวณหาระยะทางของวัตถุ ความเร็วตลอดจนทิศทางเคลื่อนที่ของวัตถุ และในการคำนวณที่ละเอียดก็สามารถหาชนิดของวัตถุได้ ซึ่งมีการคำนวณที่แตกต่างกันออกไปตามลักษณะของวัตถุที่ต้องการจะศึกษาและสามารถอธิบายหลักการทำงานพื้นฐานของเรดาร์ได้ในหัวข้อต่อไป

ภาพที่ 14

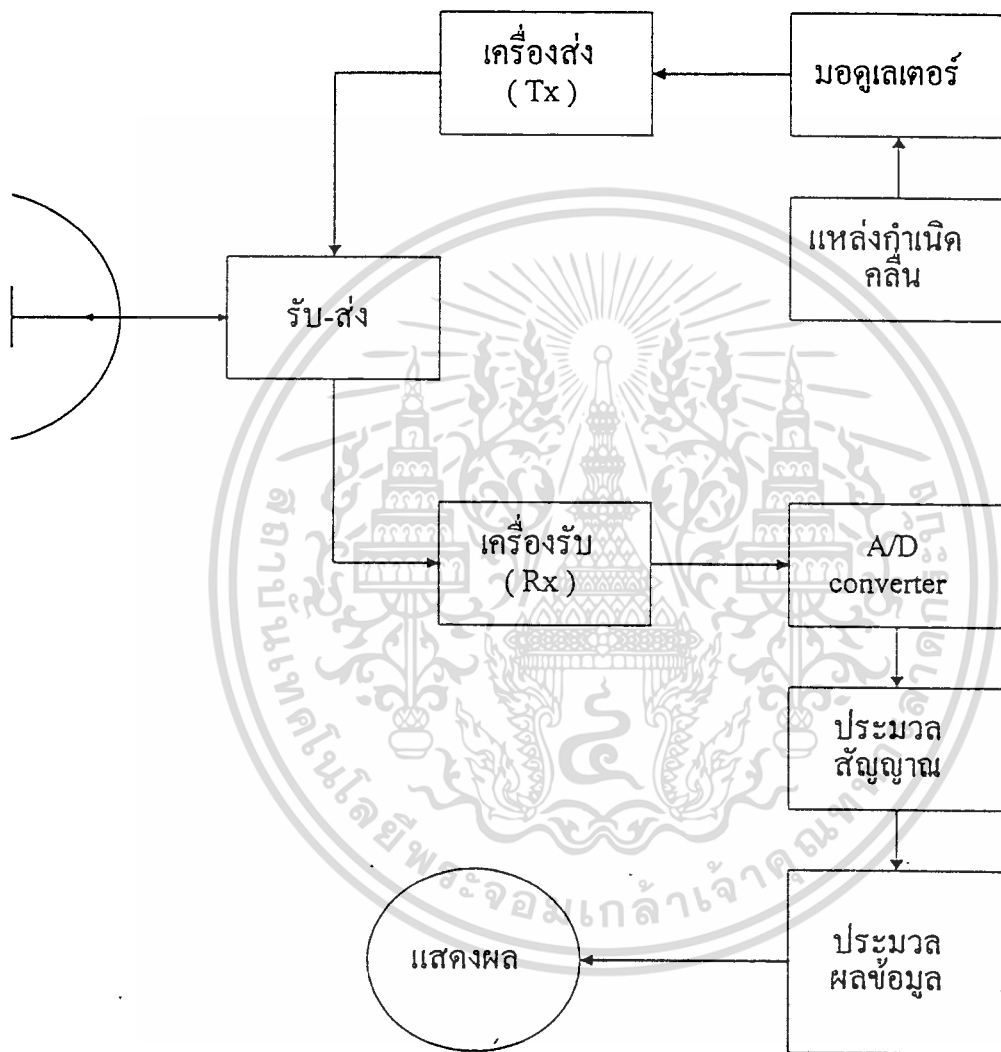


แสดงการประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์ทางเรดาร์ชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทํางานของเรดาร์

ภาพที่ 15



แสดงการทํางานของระบบของเรดาร์

หลักการทํางานของเรดาร์ จะอาศัยหลักการเมื่อส่งคลื่นที่มีความถี่ใด ๆ ออกไปแล้ว และเกิดการกระทบกับวัตถุใด ๆ ทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นที่ส่งไปและที่เครื่องรับจะรับสัญญาณที่ได้จากการสะท้อนจากวัตถุ และนำสัญญาณที่ได้มาวิเคราะห์ โดยนำผลที่ได้ 2 ประการที่สำคัญคือ เวลาที่ใช้ในการส่งไปและสะท้อนกลับมา และความถี่ที่เปลี่ยนไปโดยผลของดอปเปอร์กล่าวคือ เมื่อวัตถุมีการเคลื่อนที่คลื่นที่กระทบจะเปลี่ยนความถี่ไป และผลที่ได้จากสองประการที่กล่าวมานี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะทำให้ทราบถึงระยะทางของวัตถุ ความเร็วและทิศทางเคลื่อนที่ของวัตถุ โดยปกติระบบเรดาร์จะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. เครื่องกำเนิดความถี่ จะเป็นแหล่งผลิตคลื่นความถี่ที่ใช้งานในระบบนั้น ซึ่งอาจเป็นคลื่นที่ต่อเนื่อง หรือเป็นพัลส์ก็ได้ หรืออาจมีการมอดูเลต สัญญาณรูปอื่น ๆ เข้าไปด้วยก็ได้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งาน
2. สายอากาศ เป็นส่วนที่กระจายคลื่นในทิศทางที่ต้องการ และในการรับการส่ง อาจใช้สายอากาศ อันเดียวกันก็ได้ และในระบบออปติก จะใช้เลนส์ หรือ เทเลสโคป แทนสายอากาศ
3. การวิเคราะห์สัญญาณ (Data Processing) เป็นส่วนที่นำสัญญาณที่ได้มาวิเคราะห์ผล ซึ่งมีความสลับซับซ้อน โดยขึ้นกับระบบที่ใช้งาน
4. หน่วยแสดงผล เป็นหน่วยแสดงผลปกติจะเป็นหลอดสัญญาณ CRT ที่มีรูปแบบต่าง ๆ ตามลักษณะของการใช้งาน

สมการเรดาร์

จากภาพที่ 15 ถ้าที่เครื่องส่งมีกำลังเป็น P_T และมีลักษณะเป็นไอโซโทรปิก ซึ่งมีลักษณะการกระจายเป็น $4 \pi R^2$ โดยที่ R เป็นระยะทางใด ๆ ซึ่งจะได้พลังงานต่อพื้นที่ ระยะทาง R ดังนี้

$$\text{พลังงานต่อพื้นที่ (R)} = P_T / (4 \pi R^2)$$

และเมื่อสัญญาณถูกส่งโดยสายอากาศ หรือเลนส์ในระบบออปติก ซึ่งมีทิศทางที่แน่นอน และมีแกนขยายเมื่อเทียบกับสายอากาศ แบบไอโซโทรปิกเป็น G_r จะได้ พลังงานต่อพื้นที่ในทิศทางของสายอากาศ คือ

$$\text{พลังงานต่อพื้นที่ในทิศทางของสายอากาศ (R)} = P_T G_r / (4 \pi R^2)$$

และเมื่อตกกระทบวัตถุที่มีพื้นที่ของการตกกระทบเป็น σ หรือ RCS (Radar Cross Section) และเกิดการสะท้อนกลับ และได้พลังงานที่จุดสะท้อนกลับเป็น

$$\text{พลังงานที่จุดสะท้อนกลับ (R, \sigma)} = P_T G_r \sigma / (4 \pi R^2)$$

โดยพิจารณาสะท้อนทุกทิศทาง และพลังงานส่วนหนึ่งสะท้อนกลับมาในทิศทางเครื่องรับ
กรณีของ Monostatic เครื่องส่ง อยู่ที่ตำแหน่งเดียวกันกับเครื่องรับจะได้ระยะทางไปและกลับมีค่า
เท่ากัน และพลังงานที่สะท้อนมาถึงเครื่องรับมีค่าเป็น

$$P_{r} = \left[\frac{P_t G}{4 \pi R^2} \right] [\sigma] \left[\frac{1}{4 \pi R^2} \right]$$

และสัญญาณที่เข้าเครื่องรับ โดยที่สายอากาศหรือเลนส์มีค่า Effective aperture เป็น A_e จะ
ได้สัญญาณที่รับได้ P_r เป็น

$$P_r = \left[\frac{G P_t}{4 \pi R^2} \right] [\sigma] \left[\frac{1}{4 \pi R^2} \right] [A_e]$$

และจากความสัมพันธ์ของเกณฑ์กับ Effective aperture ของสายอากาศมีความ
สัมพันธ์เป็น

$$G = 4 \pi A_e / \lambda^2$$

จะได้สัญญาณที่รับ P_r เป็น

$$P_r = P_t A_e^2 \sigma / 4 \pi \lambda^2 R^4 L$$

เมื่อ L คืออัตราส่วนระหว่างสัญญาณที่ต้องการกับสัญญาณรบกวน (S/N) และสามารถคำนวณ
หาระยะทางที่มากที่สุดในการรับสัญญาณได้ ถ้า P_r มีการรับสัญญาณที่น้อยที่สุดเป็น P_{min} จะได้
ระยะทางที่ไกลที่สุดเป็น

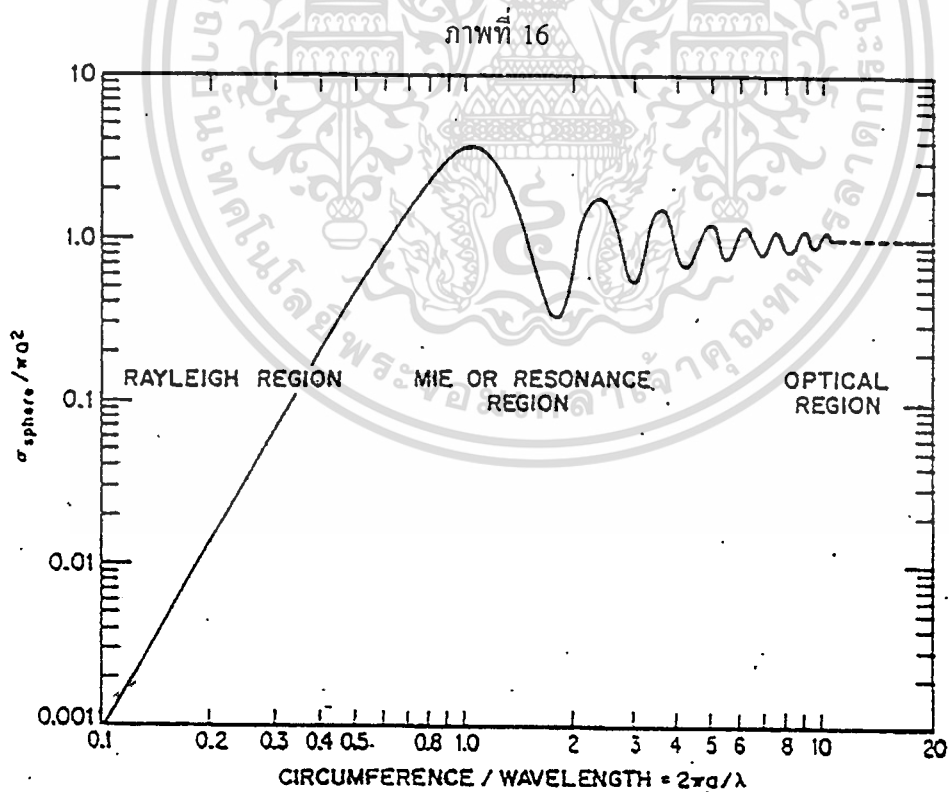
$$R = \left[\frac{P_t A_e^2 \sigma}{4 \pi \lambda^2 P_{min} L} \right]^{1/4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ n เป็นประสิทธิภาพการทำงานของระบบ และเราจะเห็นได้ว่าระยะทางมากที่สุด จะแปรผันของตัวแปรต่าง ๆ เป็นรากที่ 4 ดังนั้นถ้าต้องการระยะทางมาก ๆ ระบบต้องประกอบไปด้วย กำลังส่งของเครื่องกำเนิดคลื่นที่สูง และมีประสิทธิภาพในการส่งและรับที่ดี

Radar Cross Section (RCS)

พื้นที่ในการตกกระทบของสัญญาณที่ส่งออกไป และเกิดการสะท้อนกลับมานั้นยากต่อการคำนวณ โดยพื้นที่ตกกระทบ RCS นั้น ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของความยาวคลื่นกับขนาดของวัตถุ และขึ้นอยู่กับรูปทรงของวัตถุ ตลอดจนชนิดของสสารที่คลื่นตกกระทบ ในรูปแบบที่ง่ายในเนื้อหาของพื้นที่การตกกระทบ RCS โดยสมมุติว่าวัตถุ เป็นรูปทรงกลม และมีความสมบูรณ์ของความ เป็นตัวนำเราสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงใหญ่ ๆ ซึ่งมีผลแตกต่างกันไปในแต่ละช่วงคั้นที่แสดง ให้เห็นดังภาพที่ 16 [9] โดยจากภาพที่ 16 มีการแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ



แสดงลักษณะของพื้นที่ตกกระทบ (RCS)

1. ขนาดของวัตถุมีขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่นมาก ($1 \ll 2\pi a/\lambda$) จะมีพื้นที่การตกกระทบเท่ากับพื้นที่ตัดขวางจริง (πa^2 เมื่อ a เป็นรัศมี) และจะเรียกช่วงนี้ว่า Optical Region

2. ขนาดของวัตถุมีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่น ($1 = 2\pi a/\lambda$) โดยช่วงนี้จะเรียกว่า Mie Region หรือ Resonance Region โดยลักษณะของพื้นที่ตกกระทบจะมีการแกว่งขึ้นลงตามอัตราส่วนที่เปลี่ยนไป

3. ขนาดของวัตถุมีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นมาก ($2\pi a/\lambda < 1$) โดยจะเรียกช่วงนี้ว่า Rayleigh Region โดยพื้นที่ตกกระทบจะมีค่าแปรผันตามความยาวคลื่นยกกำลังลบสี่ ทำให้ค่าการตกกระทบลดลงอย่างรวดเร็วดังที่เห็นในภาพที่ 16

และถ้าวัตถุมีรูปร่างเป็นลักษณะอย่างอื่น ก็จะมีพื้นที่ตกกระทบ (RCS) เป็นลักษณะเฉพาะดังแสดงให้เห็นดังภาพที่ 17

ภาพที่ 17

Sphere



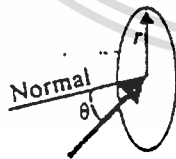
πr^2

More general large curved surface



$\pi r_1 r_2$

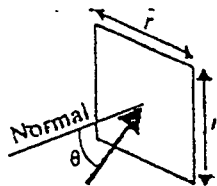
Circular flat plate



$$\frac{16\pi^3 r^4}{\lambda^2} \cos^2 \theta \left(\frac{J_1(4\pi r \sin \theta / \lambda)}{4\pi r \sin \theta / \lambda} \right)^2$$

$$= \frac{4\pi^3 r^4}{\lambda^2} \quad \text{broadside}$$

Square flat plate



$$\frac{4\pi r^4}{\lambda^2} \cos^2 \theta \left(\frac{\sin(2\pi r \sin \theta / \lambda)}{2\pi r \sin \theta / \lambda} \right)^2$$

$$= \frac{4\pi r^4}{\lambda^2} \quad \text{broadside}$$

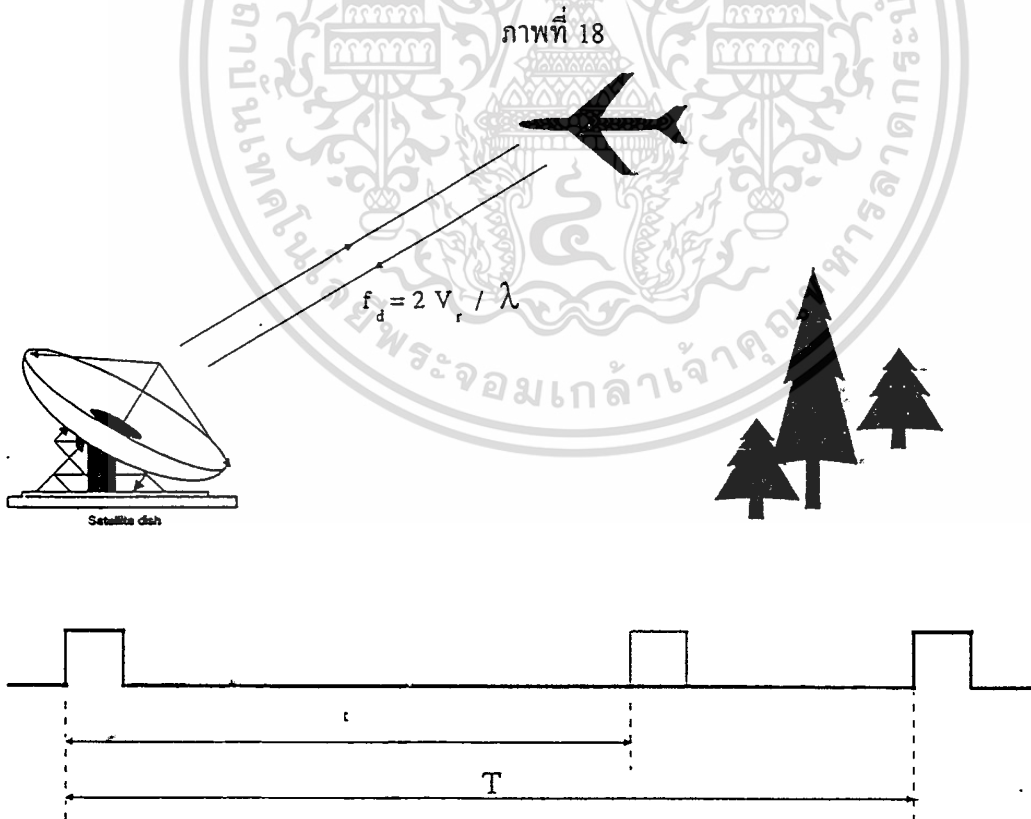
แสดงพื้นที่ตกกระทบในรูปต่างๆ

เรดาร์ในการหาระยะทาง

เรดาร์ที่ใช้ในการหาระยะทาง จะอาศัยเทคนิคของการส่งคลื่นออกไป และกระทบถูกเป้าหมาย และสะท้อนกลับมา โดยสามารถนำเวลาที่ใช้ไปทั้งหมดเปลี่ยนกลับมาให้อยู่ในรูปของระยะทางได้กล่าวคือ

$$R = ct/2$$

เมื่อ t คือเวลาทั้งหมด คลื่นใช้เดินทางไปและกลับ
 c ความเร็วของคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านในตัวกลางนั้น และเมื่อระบบมีการส่งเป็นพัลส์ ค่าของคาบเวลาในการส่ง จะเป็นตัวกำหนดระยะทางที่มากที่สุดระหว่างพัลส์ ซึ่งถ้าในการส่งค่า มีค่าน้อย จะทำให้เกิดการสะท้อนจากเป้าหมาย ปรากฏซ้อนกันดังที่เห็นดังภาพที่ 18



แสดงการหาระยะทางและความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอปเปอร์เรดาร์

คอปเปอร์เรดาร์ จะอาศัยเทคนิคของการส่งคลื่นและรับคลื่นที่มีการเปลี่ยนความถี่. ไปจากเดิม เนื่องจากไปกระทบเป้าหมายที่มีการเคลื่อนที่ดังที่เห็นในภาพที่ 18 และมีผลทำให้ความถี่เปลี่ยนไปตามหลักการของคอปเปอร์ โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$f_d = 2V_r / \lambda$$

โดยที่ f_d คือความถี่ที่เปลี่ยนไป และ V_r คือความเร็วของวัตถุ และ λ คือความยาวคลื่นที่ใช้งาน ดังนั้น จึงสามารถรู้ถึงความเร็วและทิศทางของวัตถุได้โดยอาศัยปรากฏการณ์ของคอปเปอร์.

Atmospheric radar

ได้มีการนำระบบเรดาร์ที่ใช้เซนเซอร์ชนิดต่าง ๆ กันมาประยุกต์ ใช้ศึกษาเกี่ยวกับบรรยากาศ เช่น

- ศึกษาสภาพภูมิอากาศ, ปริมาณฝน, อุณหภูมิ, ความชื้น, ทิศทางลม, ความเร็ว
- ศึกษาถึงส่วนประกอบของก๊าซ หรือ โมเลกุล ต่าง ๆ ในชั้นบรรยากาศในระดับความสูงต่างๆ เช่น ปริมาณออกซิเจน, โอโซน, CO₂, HCl

โดยในการหาค่าต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมา ก็จะมีเทคนิค และวิธีที่แตกต่างกันออกไป และในการศึกษาหาอนุภาค หรือ โมเลกุลต่าง ๆ ที่อยู่ในอากาศ ได้มีการศึกษากันอย่างกว้างขวางนับตั้งแต่มีการคิดค้น แสงเลเซอร์เกิดขึ้น โดยมีเทคนิคที่แตกต่างกันออกไป และเรดาร์ที่ใช้จะเรียกว่า เลเซอร์เรดาร์หรือเรียกว่า Lidar (Light detection and Ranging) โดยรายละเอียดจะกล่าวในบทที่ 4

บทที่ 4

- - เลเซอร์เรดาร์ (Lidar System)

บทนำ

ในระบบเรดาร์ที่ได้กล่าวมาแล้ว ถ้านำแสงเลเซอร์ เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นจะเรียกว่า เลเซอร์เรดาร์ และนำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาโครงสร้างส่วนประกอบต่าง ๆ ที่อยู่ในชั้นบรรยากาศ รวมไปถึงสภาพภูมิอากาศเราจะเรียกว่า Lidar โดยย่อมาจาก Light Detection and Ranging ซึ่งเทคนิคที่ใช้ในการวัดจะอาศัยเทคนิคของเรดาร์ คือมีการส่งแสงเลเซอร์ออกไป และรับแสงเลเซอร์ที่สะท้อนกลับมาจากอนุภาคต่าง ๆ ที่อยู่ในชั้นบรรยากาศ โดยสามารถแยกออกเป็น 2 ลักษณะใหญ่ [10] คือ Elastic Lidar และ Nonelastic Lidar

Elastic Lidar

Elastic Lidar เป็นการรับสัญญาณที่เกิดจากการชนระหว่าง คลื่นที่ส่งออกไปกับอนุภาค โดยการชนกันจะเป็นการชนแบบยืดหยุ่น สมบูรณ์ แบบ Elastic คือ ไม่มีการสูญเสียของพลังงาน ดังนั้น การรับคลื่นก็จะรับคลื่นที่ความถี่เดียวกันกับความถี่ที่ส่งออกไป และในวิธีนี้ยังสามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 ลักษณะใหญ่ ๆ คือ

Mie Lidar

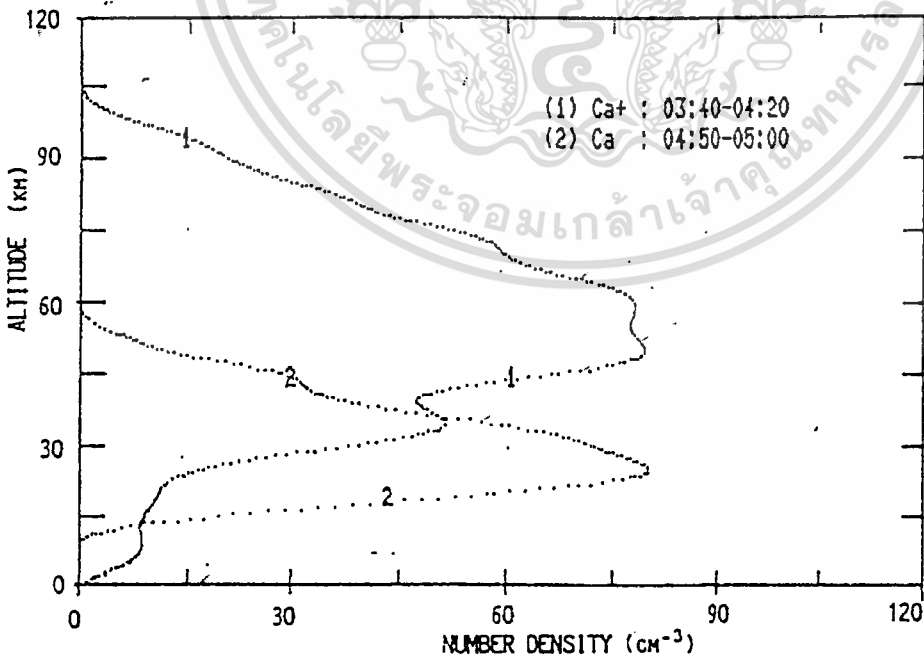
Mie Lidar เป็นระบบที่ใช้ในการวัดอนุภาคที่ใกล้เคียงหรือใหญ่กว่าความยาวคลื่นที่ส่งออกไปเล็กน้อย และรับคลื่นที่สะท้อนจากอนุภาคเหล่านั้น โดยอนุภาคที่ทำการวัดโดยวิธีของ Mie นี้ จะเป็นอนุภาคที่อยู่บริเวณชั้น Troposphere เช่น ละอองน้ำ, เมฆ, หมอก, ฝน, หิมะ, หรือ Aerosol ชนิดต่างๆ และเนื่องจากอนุภาคเหล่านี้มีการเคลื่อนที่ตามทิศทางลมที่ระยะความสูงต่าง ๆ

จึงสามารถวัดทิศทางและความเร็วของลม ได้โดยอาศัยปรากฏการณ์ของคอปเปอร์ ที่เกิดจากการชนกับอนุภาคที่เคลื่อนที่อยู่ในอากาศ

Rayleigh Lidar

Rayleigh Lidar จะพิจารณาการกระเจิงของแสงเป็นลักษณะการชนระหว่างคลื่นกับอะตอม หรือ โมเลกุล ของก๊าซที่มีขนาดของรัศมีเล็กกว่า ความยาวคลื่นทำให้เกิดการกระเจิงของแสง ดังที่เราเห็นท้องฟ้าเป็นสีฟ้า เนื่องจาก ความถี่ของแสงสีฟ้า จะเกิดการกระเจิงได้ดีที่สุด ดังนั้นเมื่อแสงอาทิตย์ผ่านชั้นบรรยากาศต่าง ๆ ลงมา ก็จะทำให้เห็นท้องฟ้าเป็นสีฟ้าให้เราเห็น และโดยอาศัยคุณสมบัติอันนี้ จึงสามารถนำไปวัดหาค่า ปริมาณของอะตอม หรือ โมเลกุลของก๊าซว่ามีความหนาแน่นเป็นลักษณะอย่างไร ในแต่ละชั้นบรรยากาศ และยังสามารถนำไปหาลักษณะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามระยะทางความสูงของอุณหภูมิดีอีกด้วย และยังสามารถประยุกต์ในการหาปริมาณ ก๊าซ แต่ละชนิด ที่ต้องการได้โดยอาศัยคุณสมบัติ ของก๊าซชนิดนั้นว่ามีการสะท้อนในช่วงความถี่ใดมากที่สุด

ภาพที่19



แสดงปริมาณของ Ca และ Ca⁺

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และในการอาศัยคุณสมบัติ ของก๊าซชนิดนั้นว่ามีการสะท้อนในช่วงความถี่ใดมากที่สุด ก็ จะนำคลื่นที่ความถี่นั้นเป็นแหล่งกำเนิดคลื่น เพื่อวัดหาอะตอมหรือโมเลกุลที่ต้องการจะศึกษาได้ โดยเราอาจจะเรียกว่าเป็นวิธี Resonance Scattering Lidar ดังเช่นตัวอย่างตามภาพที่ 19 เป็นผลการ หาแคลเซียม (Ca) และแคลเซียมไอออน (Ca^+) [14] ที่ Resonance ที่ความยาวคลื่น 722.6 nm และ 393.3 nm ตามลำดับ

Nonelastic Lidar

Nonelastic Lidar ในการชนระหว่างพลังงานของคลื่นที่ส่งออกไปกับอนุภาคในอากาศ จะ เกิดการชนแบบไม่ยืดหยุ่นได้โดยพิจารณาที่ความถี่และอนุภาคที่ชนจะมีการถ่ายเทพลังงาน โดย อะตอมหรือโมเลกุลของก๊าซมีการดูดกลืนพลังงานบางส่วน และสะท้อนพลังงานที่เหลือออกมา หรืออาจจะคายพลังงาน และคายพลังงานที่ความยาวคลื่นนั้นออกมา เนื่องจากเป็นคุณสมบัติของ อะตอมหรือโมเลกุล เมื่อได้รับพลังงานกระตุ้นก็จะมีการเปลี่ยนระดับพลังงาน และคายพลังงาน ตามคุณสมบัติของอะตอมนั้น โดยสามารถแยกเป็น 2 เทคนิค ดังนี้

Laman Scattering Lidar

Laman Scattering Lidar โดยในระบบ Lidar ชนิดนี้จะทำการส่งคลื่นแสงเลเซอร์ เพื่อให้โมเลกุลที่อยู่ในอากาศที่เราต้องการวัดหาปริมาณเกิดการเปลี่ยนระดับพลังงาน แต่ทั้งนี้เรา ต้องรู้ว่า โมเลกุลหรืออะตอมที่เราต้องการจะทำการวัดมีการดูดกลืนพลังงานที่ความถี่ไหน และหลัง จากดูดกลืนพลังงานแล้ว สารในแต่ละชนิดจะมีการคายพลังงานออกมาที่ความถี่สเปกตรัมแตกต่างกันตามคุณสมบัติของสารนั้น เทคนิคนี้เหมือนการหาชนิดของอะตอม หรือโมเลกุล หรือที่เรียกว่า Spectroscopy

Differential Absorbtion Lidar(DIAL)

Differential Absorbtion Lidar(DIAL) จะอาศัยการส่งคลื่น 2 ความถี่ขึ้นไปในการ วัด และในการวิเคราะห์สัญญาณที่ได้จากการสะท้อนกลับมาจากความถี่ต่าง ๆ ที่ส่งออกไป บริเวณ ระยะทางจุดเดียวกันในเวลาเดียวกัน การพิจารณาจากหลายๆ ความถี่จะสามารถหาชนิดของ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมเดลที่ต้องการศึกษาได้ เนื่องจาก คุณสมบัติของแต่ละโมเดลมีการคลุกคลี หรือสะท้อนพลังงานที่ความถี่แตกต่างกันออกไป ดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบเทียบสัญญาณที่กลับมาจากหลาย ๆ ความถี่ที่ส่งออกไป จึงสามารถใช้ศึกษาชนิดของอะตอมหรือโมเดลที่ต้องการได้ ซึ่งวิธีนี้เป็นที่นิยมโดยทั่วไป โดยสามารถนำไปหาความชื้น, อุณหภูมิ, ความดัน ตลอดจนสามารถติดตั้งบนพาหนะ เพื่อเคลื่อนที่ไปตามสถานที่ต่าง ๆ เมื่อทำการวัดหามลภาวะ ที่เป็นกลุ่มก๊าซชนิดต่าง ๆ ที่ปล่อยออกมาจากแหล่งอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้ เป็นอย่างดีด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สมการ Lidar และการประมวลผล

บทนำ

ในบทที่ผ่านมาเราได้กล่าวถึงการทำงานของระบบเรดาร์ และชนิดของเซนเซอร์ต่าง ๆ ตลอดจนชนิดของ Laser Radar หรือ Lidar ที่ใช้ในการศึกษาทางด้านบรรยากาศต่าง ๆ และในบทนี้จะกล่าวถึงการนำเทคนิคของเรดาร์มาใช้ในการหาความสูง และความหนาของชั้นบรรยากาศ Tropopause ที่เป็นบริเวณส่วนบนสุดของชั้นบรรยากาศ Troposphere โดยชั้นความสูงของชั้นบรรยากาศ Troposphere ในแต่ละจุดบนนั้น โลกจะมีค่าไม่เท่ากัน ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว และกล่าวถึงลักษณะสมการของสัญญาณที่ได้ในรูปของตัวแปรต่าง ๆ ตลอดจน การนำสัญญาณที่ได้ไปประมวลผล ในขั้นตอนต่าง ๆ โดยคอมพิวเตอร์

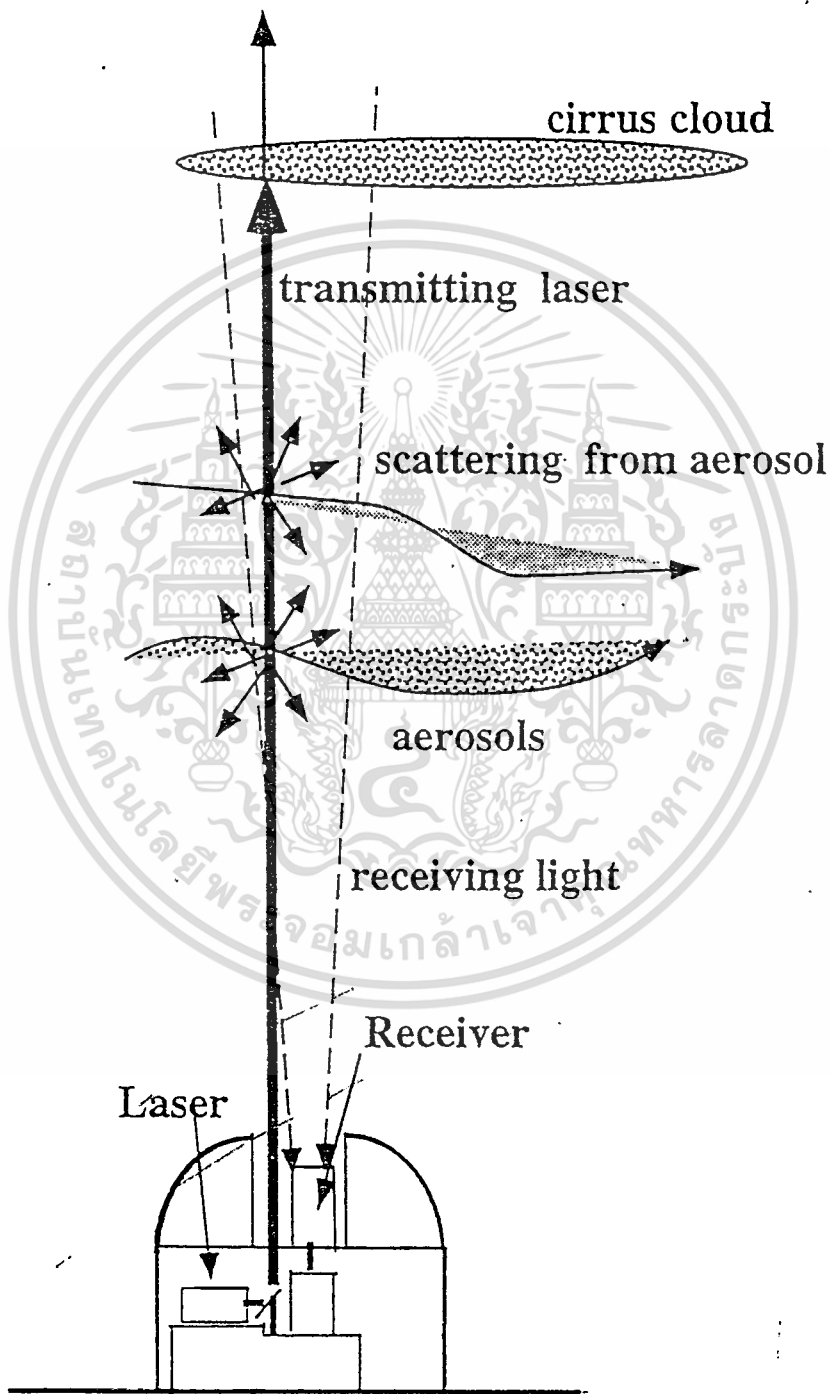
ระบบของ Lidar

ระบบของ Lidar ที่ใช้ทำการทดลองในวิทยานิพนธ์นี้ จะเป็นแบบ Mie Lidar โดยที่ระบบจะติดตั้งอยู่บนพื้นดิน โดยจะใช้ Nd : YAG Laser เป็นแหล่งกำเนิดคลื่น โดยจะให้ความยาวคลื่นที่ 530 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงที่สายตาคคนเรามองเห็นได้ โดยจะเห็นเป็นสีเขียวอ่อน และในการส่งแสงเลเซอร์ที่มีคุณสมบัติเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงจะจัดให้อยู่ในแนวตั้งฉากกับพื้นดิน โดยแสดงให้เห็นในภาพที่ 20 และอาศัยคุณสมบัติของแสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่นสั้น ทำให้เกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ กับอนุภาคที่ลอยอยู่ในอากาศ และก๊าซชนิดต่าง ๆ ที่ห่อหุ้มโลกอยู่ โดยคุณสมบัติของแสงเลเซอร์ที่สำคัญอย่างหนึ่งคือ ปรากฏการณ์การกระเจิงของแสง เมื่อแสงกระทบวัตถุที่มีขนาดใกล้เคียง หรือเล็กกว่าความยาวคลื่นของแสงนั้น และใช้ Telescope ในการรับสัญญาณที่เกิดจากการกระเจิงของอนุภาคเหล่านั้น โดยที่ตำแหน่งของแสงเลเซอร์ส่ง และตำแหน่งของ Telescope จะวางอยู่ที่เดียวกัน และใกล้กันมากที่สุด (Monostatic) และสัญญาณที่เกิดจากการกระเจิงจากอนุภาคต่าง ๆ ที่กระเจายอยู่ตามระยะทางความสูงต่าง ๆ จะถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล และถูกนำไปประมวลผลโดยคอมพิวเตอร์ และในการวิเคราะห์สัญญาณจะประมวลผลทั้งขนาด และเฟสของสัญญาณที่เปลี่ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปลงไปโดยสัมพันธ์กับระยะความสูงจากพื้นดิน และในรายละเอียดในส่วนต่าง ๆ ของระบบจะกล่าวถึงในบทที่ 6

ภาพที่ 20



แสดงระบบของ Lidar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการและเทคนิคที่ใช้ในการวัดของ Lidar

เป็นที่ทราบกันดีว่า อากาศที่ห่อหุ้มโลกอยู่มีการแบ่งเป็นชั้น ๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 โดยที่ชั้นต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับพื้นดินคือชั้นบรรยากาศ Troposphere ซึ่งจะมีระดับความสูงที่แตกต่างกันตามตำแหน่งต่าง ๆ ที่ตั้งอยู่บนพื้นดิน. โดยที่ประเทศแถบยุโรป จะมีระดับความสูงอยู่ประมาณ 8-10 กิโลเมตร และบริเวณส่วนบนสุดของชั้นบรรยากาศ Troposphere จะเรียกว่าชั้นของ Tropopause ดังที่เห็นในภาพที่ 2 ในบทที่ 2 ซึ่งบริเวณของชั้นบรรยากาศนี้จะอยู่เหนือเมฆที่เรามองเห็น ลักษณะเฉพาะบริเวณชั้นบรรยากาศ Tropopause คือระดับอุณหภูมิจะมีค่าคงที่ หรือมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อระยะทางเปลี่ยนไป และทั่วบริเวณชั้น Tropopause จะมีอนุภาคที่มีลักษณะเป็นผลึก โดยจะเรียกว่า Cirrus cloud โดยส่วนมากจะประกอบไปด้วยผลึกของน้ำแข็ง [15] ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ลักษณะหรือสภาพอากาศจากพื้นดินจนถึงส่วนบนสุดของ Troposphere จะประกอบไปด้วย โมเลกุล หรืออะตอมของก๊าซต่าง ๆ นอกจากนี้ยังมีละอองน้ำ ฝุ่นละออง และมลภาวะที่มาจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ ผสมอยู่ด้วย แต่ขณะเดียวกันบริเวณของชั้นบรรยากาศ Tropopause จะประกอบไปด้วย อนุภาคที่มีลักษณะเป็นผลึกเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งผลของความแตกต่างอันนี้จะมีผลกระทบที่แตกต่างกันคือคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่าน โดยเฉพาะ เมื่อคลื่นนั้นมีขนาดความยาวคลื่นใกล้เคียง หรือเล็กกว่าอนุภาคเหล่านั้น โดยผลแตกต่างที่เกิดจากการกระเจิงมีผลทั้งขนาด และโพลาไรเซชัน(Polarization)ที่เปลี่ยนแปลงไป และอาศัยปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนำสัญญาณที่ได้จากการกระเจิงมาวิเคราะห์ หากระดับความสูงและความหนาของชั้นบรรยากาศ Tropopause ได้

การวิเคราะห์สัญญาณที่เกิดขึ้นจะเป็นลักษณะสมการของเรดาร์ โดยมีการส่งสัญญาณที่มีกำลังเป็น P_t จะได้ว่า ที่ระดับความสูงใด ๆ ในแนวตั้งฉากกับพื้นดินจะได้ระดับความแรงของสัญญาณ [2,5] เป็น

$$P_r(R) = [P_t \Gamma(R)] \quad (1)$$

โดยที่ $\Gamma(R)$ คือ ค่าการส่งผ่านในอากาศ และจะมีค่าเป็น 1 เมื่อไม่มีการสูญเสียกำลังงานในอากาศ แต่ในสภาพความเป็นจริงจะมีลักษณะการลดลงตามฟังก์ชันของเอกโปเนนเชียลที่อยู่ในเทอมของระยะทาง R ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

$$\Gamma(R) = e^{-\int_0^R \sigma(R) dR} \quad (2)$$

โดยที่ σ = extinction cross section

และเมื่อคลื่นกระทบถูกอนุภาคใดๆ ที่มีค่า Backscattering cross section ($\beta(R)$) ที่ระยะความสูง R ใดๆ จากพื้นดิน จะเกิดการกระเจิงของคลื่น และเมื่อพิจารณาที่เครื่องรับสัญญาณ สามารถเขียนสัญญาณที่รับได้เป็น P_r

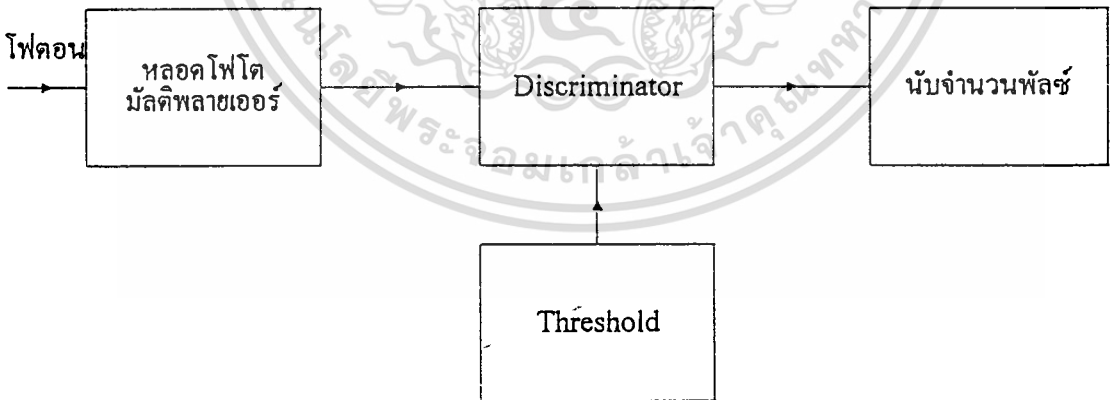
$$P_r = [P_t(R)] [\Gamma^2(R)] \left[\frac{\beta(R)}{4\pi R^2} \right] \quad (3)$$

ในสมการที่ (3) เป็นสัญญาณที่รับได้โดยยังไม่ได้คิดค่าสูญเสียต่างๆ ของระบบ ถ้าให้ τ เป็นค่าสูญเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมดในระบบสามารถเขียนสมการ (3) ได้ใหม่คือ

$$P_r = [P_t(R)] \left[\frac{\beta(R)}{4\pi R^2} \right] \left[\int e^{-2 \int_0^R \sigma(R) dR} \right] \quad (4)$$

Photon Counting

ภาพที่ 21

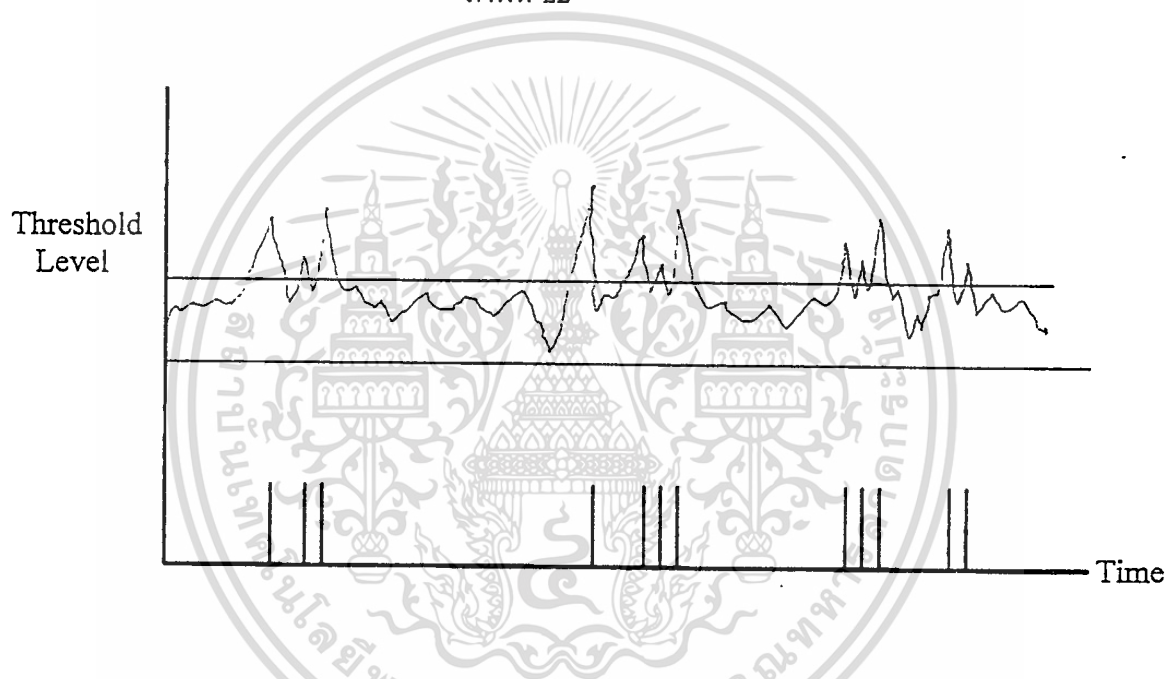


แสดงการทำงานของ Photon counting

ในหัวข้อที่ 5.3 ได้กล่าวถึงสมการของ Lidar จะเห็นได้ว่าระดับสัญญาณมีการลดลงตามระยะทางกำลังสอง ซึ่งมีการลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งที่ระดับความสูงสัญญาณจะมีค่าน้อยมาก และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบกับความเป็นจริงที่ระยะทางสูง ๆ จากพื้นดิน ปริมาณอะตอมหรือโมเลกุลของก๊าซมีจำนวนเบาบางลง ทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นที่ส่งไปมีน้อยลง จึงมีการใช้เทคนิคของ Photon Counting จะมาช่วยในการวัดที่ระดับสูง ๆ โดยสัญญาณที่ได้จากการขยายของหลอด PMT แล้วส่งเข้าไปยัง Discriminator โดยแสดงให้เห็นดังภาพที่ 21 และเมื่อสัญญาณโฟตอนที่เข้ามาถูกขยายและ ถ้าระดับสัญญาณมีระดับเกินค่า threshold ของ Discriminator ก็จะปรากฏพัลส์ ที่เอาท์พุทและทำการเก็บจำนวนพัลส์ในแต่ละช่วงเวลาที่กำหนดดังที่เห็นได้จากภาพที่ 22

ภาพที่ 22



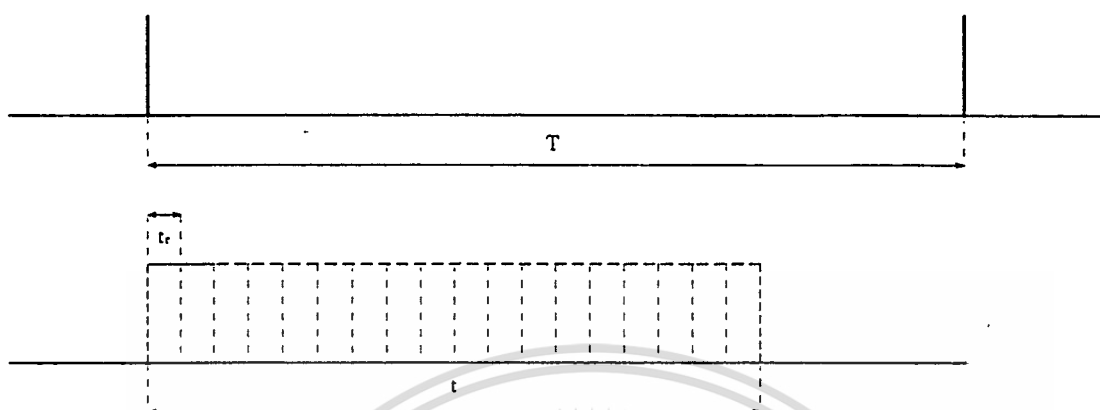
แสดงระดับค่า Threshold และจำนวนพัลส์ที่ได้

การเก็บข้อมูลและประมวลผลโดยคอมพิวเตอร์

ในระบบจะส่งเลเซอร์เป็นพัลส์ที่มีความถี่ 10 Hz และความกว้างของพัลส์ 5×10^{-9} วินาที และในการเก็บข้อมูลจะเก็บหลังจากส่งเลเซอร์ออกไปแล้ว 2×10^3 วินาที โดยทำการแบ่งเป็นช่วง ๆ ละ 2×10^{-6} วินาที โดยที่ 1×10^{-3} วินาที จะมีระยะทางการเก็บข้อมูล 150 km จากพื้นดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 23



แสดงช่วงเวลาของการเก็บข้อมูล

และในการเก็บข้อมูลจะใช้การ์ด MCS (Multichannel scaler) เป็นการ์ดที่เชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์โดยการ์ด MCS จะทำการนับจำนวนพัลส์ดังที่เห็นในภาพที่ 21 จะเห็นว่าสัญญาณเมื่อผ่าน discriminator แล้ว สัญญาณที่ได้จะเป็นรูปของพัลส์ และจำนวนพัลส์เหล่านี้จะถูกส่งไปยัง Counter ใน MCS เพื่อทำการนับในแต่ละช่วงเวลา โดยช่วงเวลา (t) ของการนับจะใช้เวลา 2×10^6 วินาที ดังที่เห็นในภาพที่ 23 และข้อมูลเวลาของการนับจะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำในคอมพิวเตอร์ และในการเก็บข้อมูลจะเก็บทั้ง P และ S โพลาริเซชัน (Polarization)

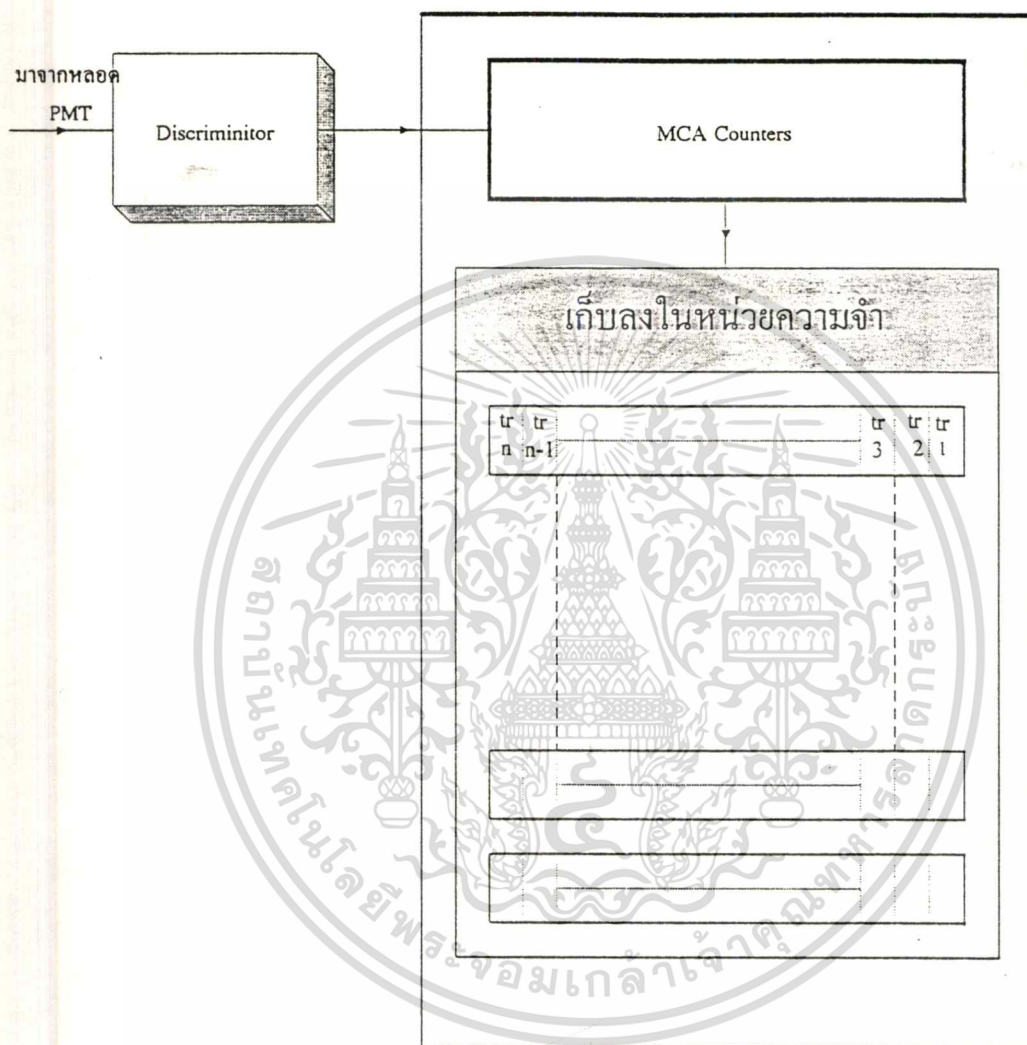
$T = 100 \times 10^{-3}$ โดยที่ T คือระยะเวลาห่างของพัลส์เลเซอร์ที่ส่งออกไป

$t = 200 \times 10^{-6}$ โดยที่ t คือค่าระยะเวลา (t) ทั้งหมดในการเก็บข้อมูล
ในแต่ละพัลส์ของเลเซอร์ที่ส่งออกไป

$t_r = 2 \times 10^{-6}$ โดยที่ t_r คือค่าระยะเวลาในแต่ละช่วงของการเก็บข้อมูล

ภาพที่ 24

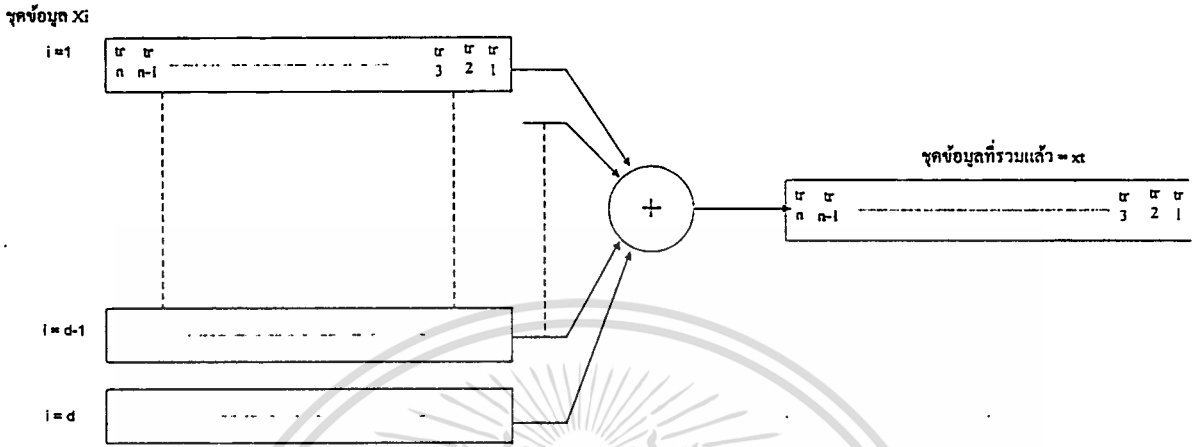
Computer



แสดงการเก็บข้อมูลโดยคอมพิวเตอร์

โดยในการนับแต่ละครั้งจะทำการเก็บข้อมูลลงในไฟล์ โดยที่ไฟล์ข้อมูลแต่ละข้อมูลจะถูกนำมารวมกัน ดังที่เห็นในภาพที่ 24

ภาพที่ 25



แสดงการรวมชุดข้อมูลของชุดข้อมูล X_i ต่างๆ

โดยสามารถเขียนได้เป็น

$$x_{t_c} = \sum_{i=1}^{i=d} X_{i_c}$$

โดยที่

- X_{i_c} คือข้อมูลที่อยู่ในชุดข้อมูลที่ i และอยู่ในตำแหน่งที่ c
- x_{t_c} คือข้อมูลที่อยู่ในตำแหน่งที่ c และเป็นข้อมูลที่ถูกรวมแล้ว
- d คือจำนวนชุดของข้อมูล
- n คือจำนวนตำแหน่งของข้อมูลทั้งหมด

และค่า x_c ในแต่ละตำแหน่ง c คือค่าของจำนวนพัลซ์ที่นับได้จากการสะท้อนของอนุภาคที่อยู่ในอากาศในอากาศ และเมื่อนำข้อมูลทั้งหมดมาเปรียบเทียบกับลักษณะการลดลงของอนุภาคเมื่อมีระยะความสูงเพิ่มขึ้น โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$N(h) = A e^{-\gamma h} \quad \text{โมเลกุล}$$

โดยที่

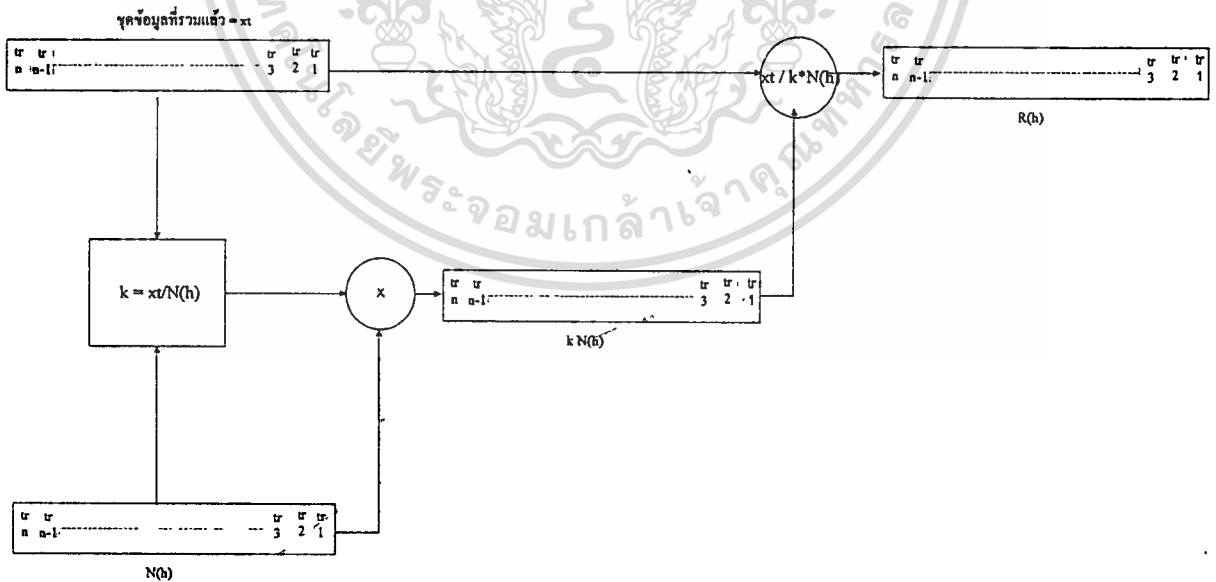
- $N(h)$: ปริมาณของอนุภาคในอากาศที่ตำแหน่งความสูง h
- γ : ค่าคงที่ในการลดลงโดยรมีค่า 0.1-0.2
- h : ค่าระยะความสูง
- A : ปริมาณของอนุภาคในอากาศที่ระดับพื้นดิน

โดยในการเปรียบเทียบค่า x_t ในแต่ละตำแหน่ง t ที่ได้จากการสะท้อนของอนุภาคที่อยู่ในอากาศในอากาศ กับลักษณะการลดลงของอนุภาค $N(h)$ โดยสามารถหาอัตราส่วนระหว่างจำนวนทั้งสองได้ดังนี้

$$k = x_t / N(h)$$

ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นดังในภาพที่ 26

ภาพที่ 26



แสดงการหา k และค่าอัตราส่วน $R(h)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่เมื่อหาค่า k ได้แล้วก็จะนำค่า k ไปคูณกับค่าของอนุภาคในอากาศ $N(h)$ และหลังจากนั้นก็ให้นำค่า x_t มาหาอัตราส่วนกับค่า $N(h)$ ดังที่แสดงในภาพที่ 26 โดยผลที่ได้จากอัตราเปรียบเทียบ $R(h)$ จะมีค่าเป็นหนึ่ง เมื่อข้อมูล x_t ที่ได้จากการเก็บผลกับค่าจำนวนอนุภาค $k \cdot N(h)$ มีค่าเท่ากัน

$$R(h) = x_t / N(h) \cdot k$$

แต่ในความเป็นจริงบริเวณของชั้นบรรยากาศ Tropopause มีอนุภาคที่มีลักษณะผลึกของเกลือน้ำแข็งอยู่ ดังนั้นค่าอัตราส่วน $R(h)$ ที่บริเวณนี้จะมีค่าไม่เท่ากับหนึ่ง จึงทำให้ทราบถึงระยะทางความสูงของชั้นบรรยากาศนี้ได้

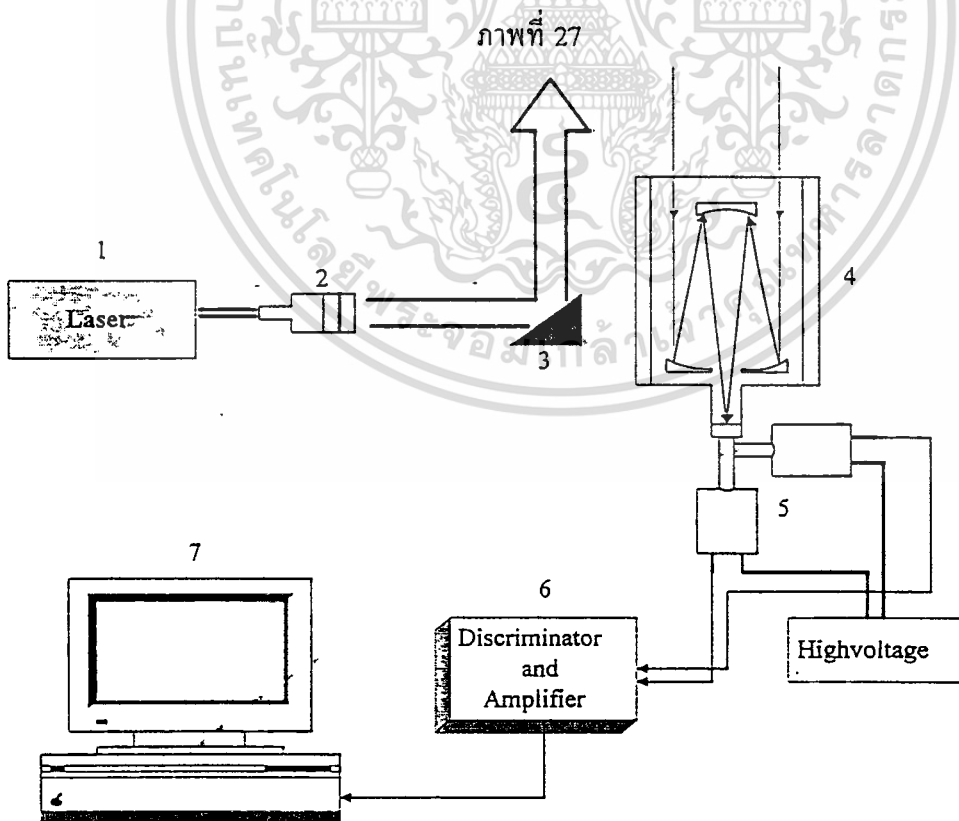


บทที่ 6

อุปกรณ์การทดลอง

บทนำ

ในบทที่ผ่านมา มา ได้กล่าวถึงระบบการทำงานของระบบเรดาร์ และเลเซอร์เรดาร์ชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ศึกษาทางด้านสภาพอากาศ ตลอดจนลักษณะรายละเอียดการทำงานของระบบ และเทคนิคที่ใช้ในการวัด และกล่าวถึงการเก็บข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูลโดยคอมพิวเตอร์ และในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดส่วนประกอบของอุปกรณ์ทางแสงต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง โดยระบบที่ใช้ในการทดลองในวิทยานิพนธ์นี้ สามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมดังภาพที่ 27



แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3

- 1 : เครื่องกำเนิดคลื่นเลเซอร์ Nd : YAG Laser
- 2 : Beam expander
- 3 : กระจกสะท้อน 45 องศา
- 4 : Telescope
- 5 : หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์(PMT)
- 6 : Discriminator and Amplifier
- 7 : Computer and Multichannel scaler(MCS) Card

แสดงอุปกรณ์ที่ใช้งาน

Laser

ในปัจจุบันได้มีการคิดค้นผลิตเลเซอร์ออกมามากมายหลายชนิดด้วยกันเพื่อการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป โดยทั่วไปแล้วสามารถจัดแบ่งประเภทของเลเซอร์ได้ 3 แบบใหญ่ ๆ ตามลักษณะของสารเลเซอร์ได้คือ

1. Solid state Lasers โดยระบบเลเซอร์ชนิดนี้สารที่ให้กำเนิดแสงเลเซอร์อยู่ในสถานะของแข็งเช่น ผลึกรูบี้, YAG, Semiconductor Laser
2. Liquid Lasers โดยที่สารที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์อยู่ในสถานะของเหลวโดยส่วนใหญ่จะนิยมเรียกว่าคายเลเซอร์
3. Gas Lasers โดยที่สารที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์อยู่ในสถานะก๊าซเช่น CO_2 , He-Ne, Ar, Kr เป็นต้น

โดยในแต่ละชนิดของสารเลเซอร์ที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ที่ความถี่ต่าง ๆ กันตามคุณสมบัติของสารนั้น โดยแต่ละชนิดจะอาศัย หลักการทำงานที่เหมือน ๆ กัน ในการผลิตแสงเลเซอร์ออกมา

โดยปกติทั่วไปแล้วองค์ประกอบหลักใหญ่ของระบบเลเซอร์ จะมีอยู่ 3 อย่างด้วยกันคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สารตัวกลางเลเซอร์ (Laser medium) เป็นสารที่จะกำเนิดความถี่ของแสงเลเซอร์ที่มีความถี่แตกต่างกันตามคุณสมบัติของสารนั้น และการเรียกชนิดของเลเซอร์มักจะเรียกตามชื่อสารนี้

2. ออปติคัลเรโซเนเตอร์ (Optical Resonator) เป็นระบบทางออปติกซึ่งโดยปกติจะเป็นกระจกอยู่สองบานอยู่หน้าและหลังของสารตัวกลางเลเซอร์ โดยที่กระจกหลังจะมีเปอร์เซ็นต์การสะท้อน 99.9% และกระจกหน้ามีเปอร์เซ็นต์การสะท้อนอยู่ระหว่าง 65-95% และมีรัศมีความโค้งประมาณ 5-10 เท่าของความยาวของสารตัวกลางเลเซอร์

3. แหล่งจ่ายพลังงาน เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้สารตัวกลางเลเซอร์ เพื่อให้สารเลเซอร์อยู่ในสถานะที่ถูกกระตุ้น และขณะที่กลับสถานะเดิมจะปลดปล่อยพลังงานออกมาตามค่าที่ต้องการ โดยทั่วไปจะเรียกว่าการ Pumping ซึ่งแหล่งจ่ายพลังงานนี้อาจมาจากหลอดแฟลช สนามไฟฟ้าจากสัปดาห์ไฟฟ้าแรงสูง การใช้ลำอิเล็กตรอน หรือวิธีการอื่นตามความเหมาะสม

สามารถอธิบายขั้นตอนต่าง ๆ ในการเกิดแสงเลเซอร์ได้ดังนี้ เมื่ออะตอมของสารเลเซอร์ได้รับพลังงานจากแหล่งจ่ายพลังงานใด ๆ ก็ตามทำให้อะตอมที่อยู่ในสถานะพื้นเปลี่ยนไปอยู่ในสถานะที่ถูกกระตุ้น และเมื่ออยู่ในสถานะที่ถูกกระตุ้นได้ช่วงเวลาหนึ่งแล้ว อิเล็กตรอนจะกลับสู่สถานะพื้นและปลดปล่อยพลังงานออกมาตามความถี่ที่ขึ้นอยู่กับสารนั้นเรียกว่าการเกิด Spontaneous Emission โดยที่พลังที่ปลดปล่อยออกมาในทุกทิศทาง และพลังงานที่อยู่ในแนวของ Optical Resonator จะมีการสะท้อนกลับไปมา และมีการให้พลังงานอย่างค่อเนื่องทำให้เกิดการคายพลังงานรวมกับของเดิมเรียกว่าการเกิด Stimulated Emission จนกระทั่งความเข้มของพลังงานสูงขึ้นจนสามารถทะลุผ่านกระจกด้านหน้าออกมาเป็นแสงเลเซอร์ และในการทดลองนี้ได้ใช้ Nd : YAG Laser โดยจะผลิตความถี่ฮาร์โมนิกที่ 2 ที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร โดยจะเห็นรูปถ่ายดังในภาพที่ 28 โดยแสดงคุณสมบัติของ Nd : YAG Laser ที่ใช้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4

กำลังของเลเซอร์	35 W
ความกว้างของพัลส์	5 ns
ความถี่ที่ใช้ในการส่งเลเซอร์	10 Hz
เบีมไดเวอร์เจนต์	0.1 mrad

แสดงคุณสมบัติของ Nd : YAG Laser

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 28



แสดงภาพถ่ายของเลเซอร์

ภาพที่ 29

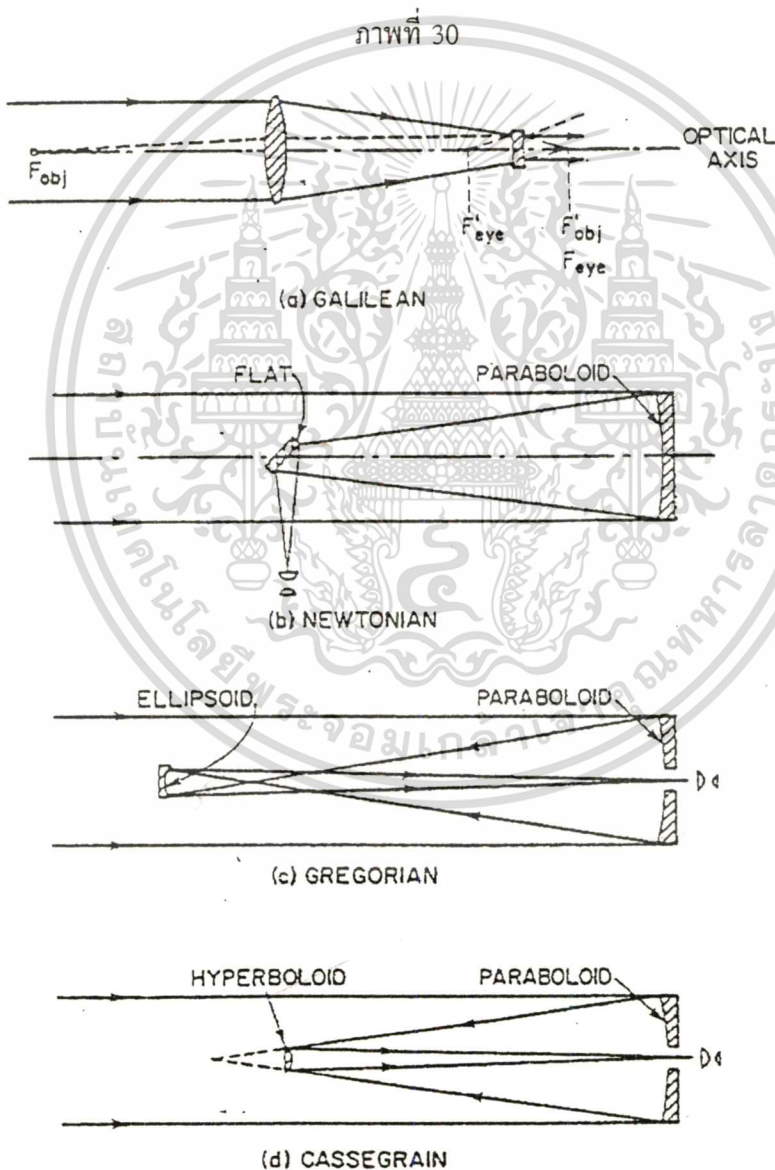


แสดงภาพถ่ายของ Telescope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Telescope

ในการรับแสงที่เกิดจากการกระเจิงจากอนุภาคต่าง ๆ จะใช้ Telescope เป็นตัวรับโดยตัว Telescope จะมีลักษณะโครงสร้าง ภายในเป็นกระจกโค้งเว้าอยู่สองบาน เพื่อทำการรวมแสงที่เข้าสู่ จุดโฟกัส และสามารถแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะ ใหญ่ ๆ ดังภาพที่ 30 และ Telescope ที่ใช้ในการ ทดลองนี้เป็นแบบ Gregorian ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ดังภาพที่ 29



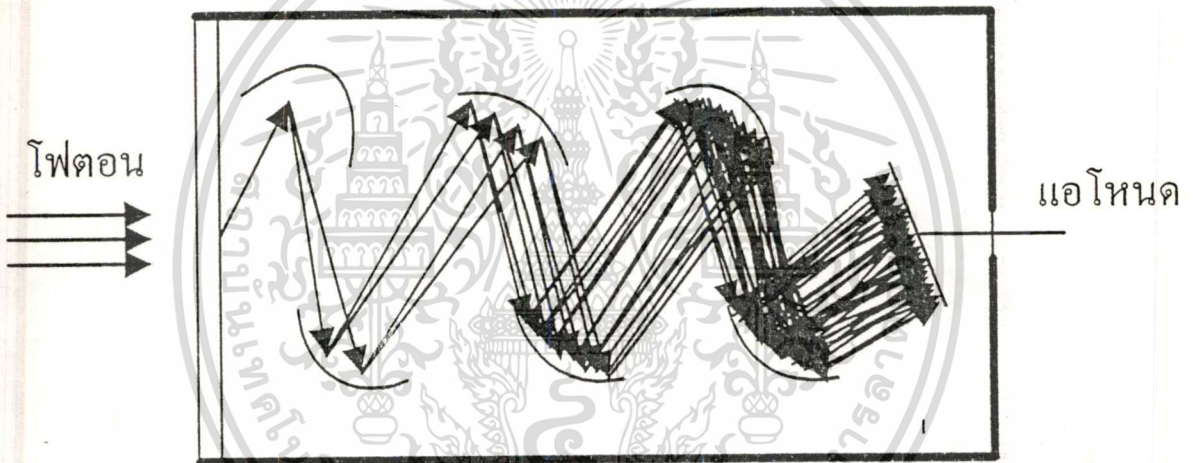
แสดงชนิดของ Telescope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (PMT)

หน้าที่ของหลอด PMT จะใช้เป็นเซนเซอร์ในการเปลี่ยนพลังงานโฟตอน ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า โดยจะรับพลังงานโฟตอนจาก Telescope และในหลอด PMT จะทำหน้าที่ขยายอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจากแอโนดเนื่องจากได้รับพลังงานจากโฟตอนที่เข้ามาชน โดยมีลักษณะการทำงานดังภาพที่ 31

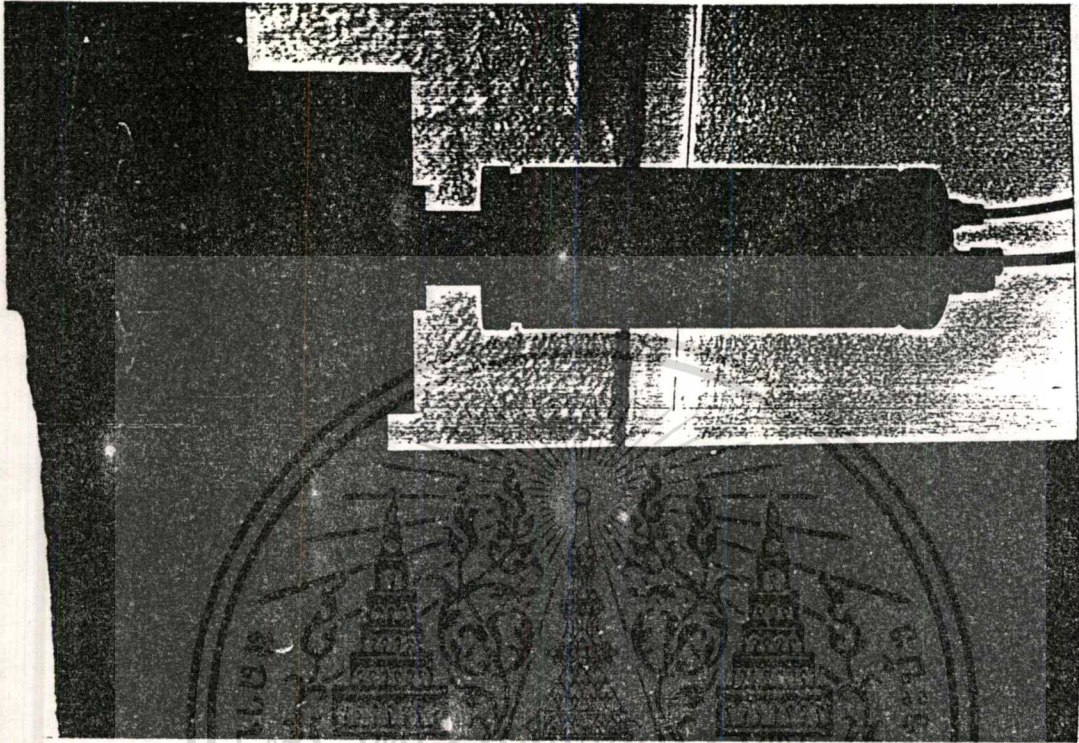
ภาพที่ 31



แสดงการทำงานของหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (PMT)

ในการทำงานหลอด PMT จะใช้แรงดันค่าต่าง ๆ ที่เป็นสัดส่วนต่อเข้าที่ขั้ว Node ต่าง ๆ เมื่อโฟตอนเข้ามาจะมีการขยายเพิ่มขึ้น เป็นช่วง ๆ ทำให้ได้พลังงานโฟตอนที่เข้ามา เปลี่ยนรูปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าได้ และในการทดลองจะใช้หลอด PMT 2 ตัว ที่ทำการรับสัญญาณทั้งสองโพลาไรเซชัน (Polarization) ที่ตั้งฉากซึ่งกันและกัน โดยแสดงให้ภาพถ่ายในภาพที่ 32

ภาพที่ 32

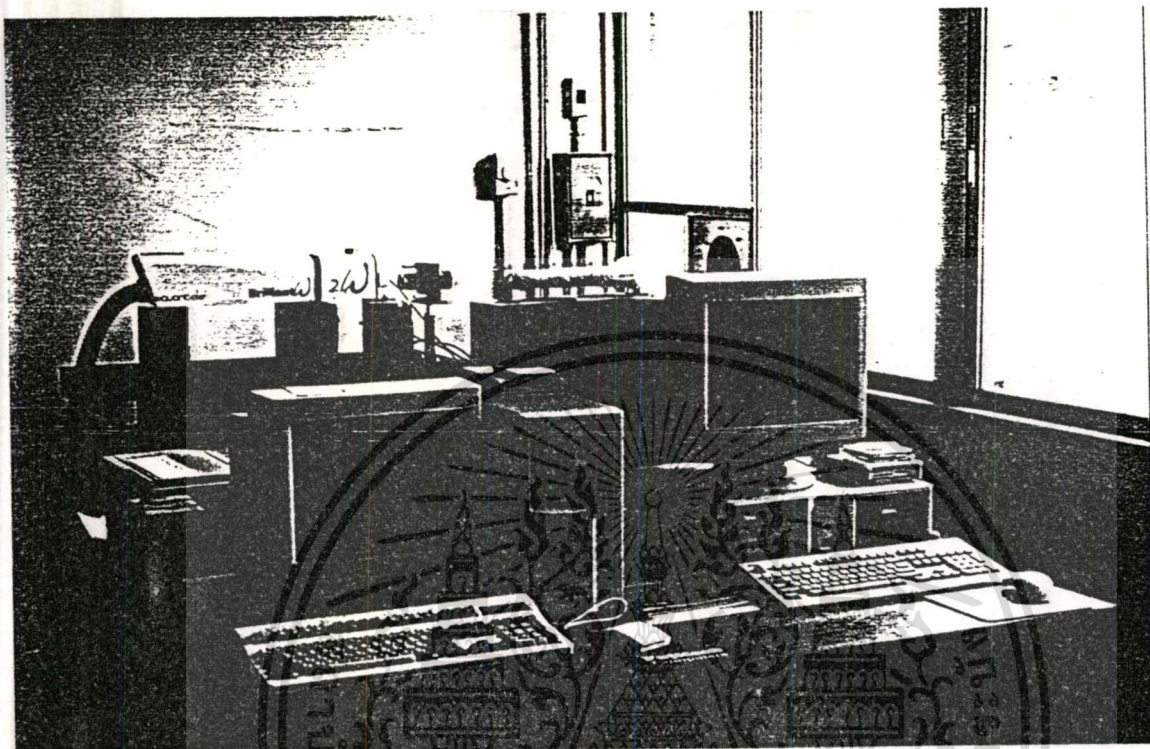


แสดงภาพถ่ายของ หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (PMT)

Discriminator

หลังจากผ่านการขยายโดยหลอด PMT สัญญาณที่ได้จะมาทำการ Discriminator จะได้อะท์พุทออกเป็นพัลส์ตามสัญญาณที่เข้ามาเกินระดับ Threshold ที่ตั้งไว้โดย Discriminator ที่ใช้เป็นของ LeCroy C9130

ภาพที่ 33



แสดงภาพถ่ายบริเวณห้องที่ใช้ทดลอง

Multichannel scaler(MCS) & PC

ส่วนสุดท้ายคือ สัญญาณพัลส์ที่ออกจาก Discriminator แล้วเข้าสู่ส่วน Counter เพื่อทำการนับคั้งที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 5 โดยการนับจำนวนพัลส์ในแต่ละช่วงเวลาจะใช้การ์ด Multichannel scaler(MCS) ที่จะทำการเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ และเก็บข้อมูลต่าง ๆ ลงในไฟล์ และนำไปประมวลผลต่อไป และภาพถ่ายที่เห็นในภาพที่ 33 แสดงบริเวณห้องที่ใช้ทดลอง

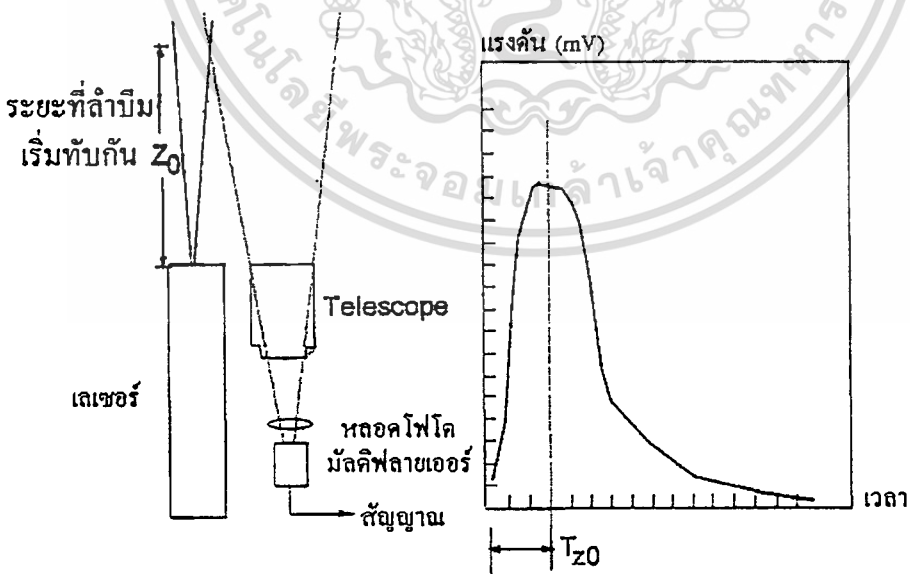
บทที่ 7

การทดลองและผลการทดลอง

การทดลอง

ในการทดลองจะกระทำตอนกลางคืน และท้องฟ้าเหนือบริเวณนั้นไม่มีเมฆเท่านั้น ซึ่งถ้ากระทำการทดลองในช่วงเวลากลางวันสัญญาณที่ได้จะมาจากแสงอาทิตย์ จึงไม่สามารถแยกความแตกต่างได้ และเมื่อทำการทดลองโดยที่เหนือบริเวณที่ตั้งมีเมฆลอยอยู่หนาแน่น แสงเลเซอร์จะสะท้อน และถูกดูดกลืนโดยก้อนเมฆทำให้ไม่สามารถทะลุผ่านเมฆได้ แต่ทำให้รู้ว่าระดับเมฆมีความสูงเท่าไร และในการทดลองสิ่งสำคัญประการหนึ่ง คือ การปรับแนวลำแสงเลเซอร์ให้อยู่ในแนวตั้งฉากกับพื้นดิน และลำบีมของทั้งสองต้องทับกัน ดังแสดงในภาพที่ 34 เพื่อที่จะได้รับสัญญาณตลอดช่วงความสูงใดๆ และเมื่อให้แนวบีมของทั้งคู่ทับกันมากที่สุด ในการติดตั้งจึงจำเป็นที่จะต้องให้ Telescope อยู่ใกล้กับแนวบีมของลำแสงเลเซอร์ให้มากที่สุด

ภาพที่ 34



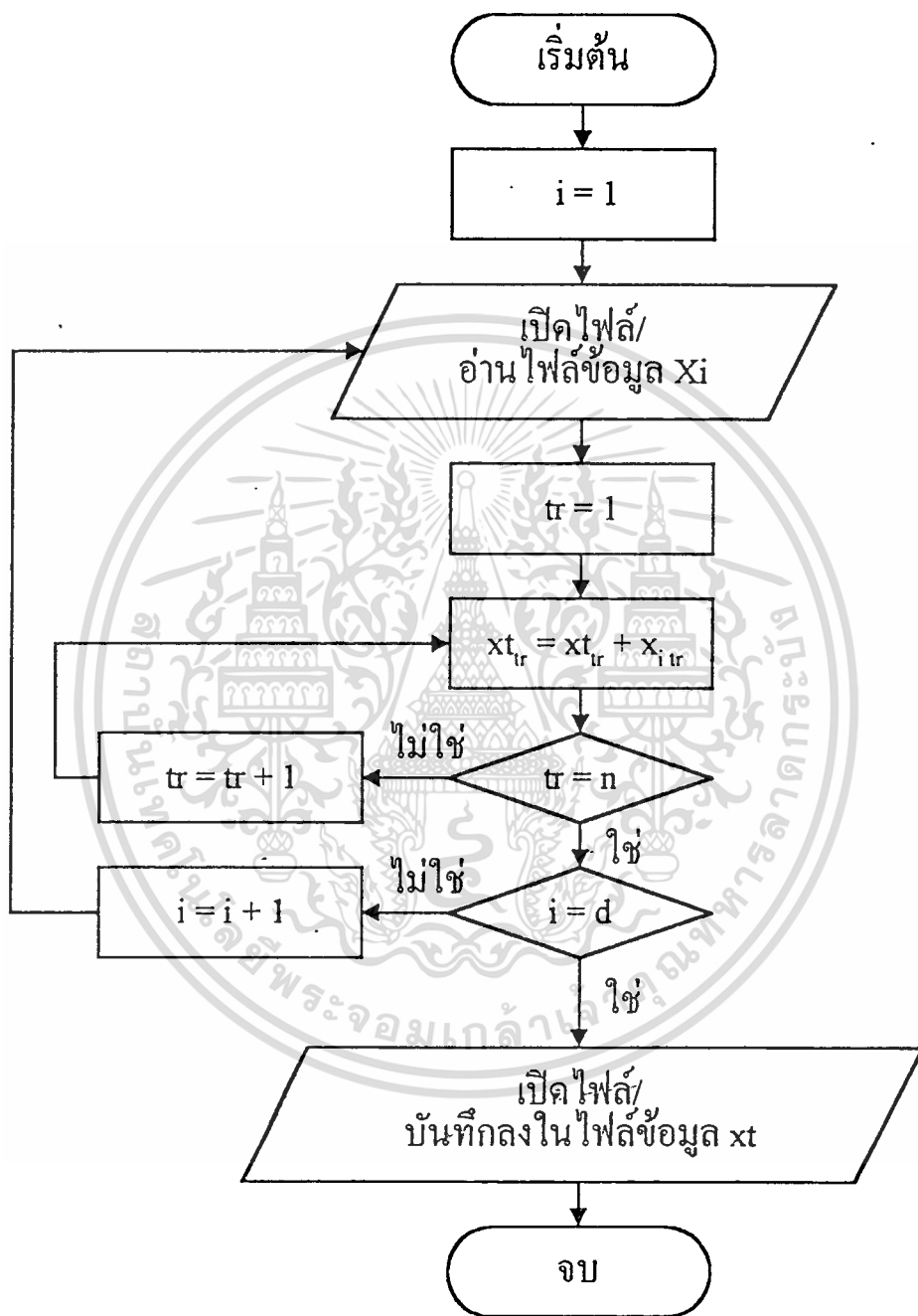
แสดงผลของลำบีมที่เกิดการทับกัน

จากภาพที่ 34 จะเห็นว่าถ้าจุดที่เริ่มต้นทับกันเป็น Z_0 ดังนั้นตำแหน่งของ Z_0 สามารถดูจากจอของสโคปได้โดยตรง โดยสัญญาณช่วงแรกจะหายไปช่วงระยะเวลาหนึ่ง คือ T_{20} ใช้สำหรับการเดินทางถึง Z_0 นั่นเอง

การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

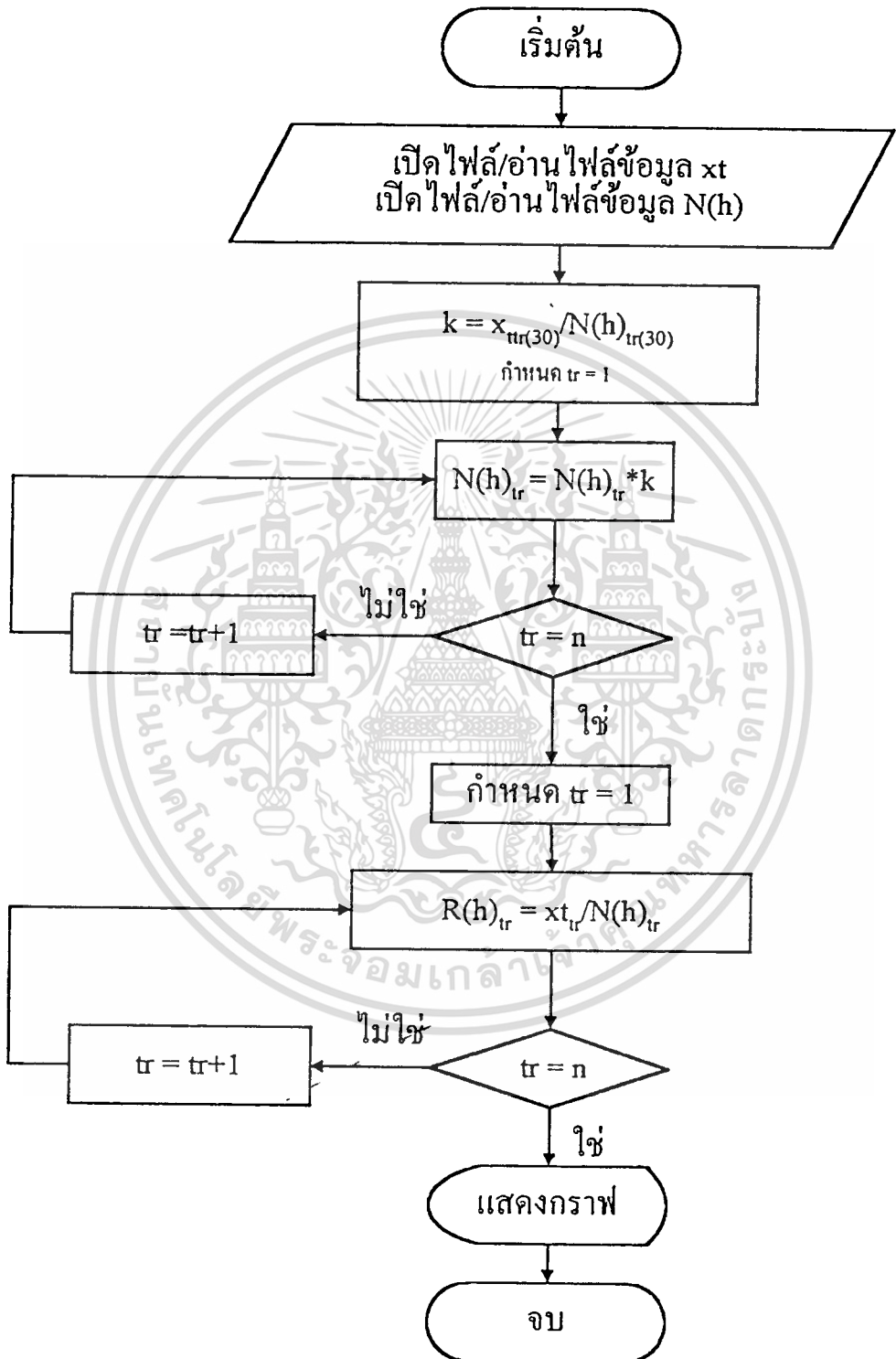
และดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 5 ที่กล่าวถึงการใช้เทคนิคของ Photon counting มาทำการเก็บข้อมูลโดยทำการนับจำนวนพัลส์ที่มาจากหลอดโฟโตมัลติฟลายเออร์ และทำการเก็บข้อมูลลงคอมพิวเตอร์โดยการด์ MCS (Multichannel scaler) และทำการรวมข้อมูลแต่ละชุดโดยฟังก์ชัน Fileread ที่อยู่ในโปรแกรมในส่วนของภาคผนวก โดยมีโฟลว์ชาร์ทการทำงานดังภาพที่ 35 โดยจากภาพที่ 35 จะเริ่มต้นโดยการเปิดไฟล์ข้อมูล และทำการอ่านไฟล์ข้อมูลชุดที่หนึ่ง ($i=1$) และเริ่มอ่านข้อมูลที่ตำแหน่งข้อมูล (x) ที่หนึ่งถึง n โดยในที่นี้ n มีค่าเท่ากับ 100 และทั้งนี้ในแต่ละช่วงของ x จะใช้เวลา 2×10^{-6} วินาที ดังนั้นถ้า 100 ช่วง ก็จะได้เวลา 200×10^{-6} วินาที ซึ่งจะได้ระยะทางที่ 30 km โดยจะทำการอ่านถึงชุดข้อมูลที่ d และนำมารวมกันทั้งหมด จากนั้นก็จะบันทึกลงในไฟล์ข้อมูล xt ดังที่แสดงโฟลว์ชาร์ทให้เห็นในภาพที่ 35

ภาพที่ 35



แสดงไฟล์ซาร์ทของฟังก์ชัน Fileread ที่อยู่ในโปรแกรมในภาคผนวก

ภาพที่ 36



แสดงโพลาร์ของฟังก์ชัน G_{ph} ที่อยู่ในโปรแกรมในภาคผนวกที่ทำการหาค่า k และ $R(h)$

ในภาพที่ 36 แสดงโพลีกราฟของฟังก์ชัน G_{ph} ที่อยู่ในโปรแกรมในภาคผนวก ที่ทำการหาค่า k และ $R(h)$ โดยเริ่มต้นที่ทำการเปิดไฟล์และอ่านไฟล์ข้อมูล x_i ที่เกิดจากการรวมข้อมูลทั้งหมดโดยฟังก์ชัน $FileRead$ ในโปรแกรมดังที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้ โดยจะเห็นได้ว่าหลังการอ่านข้อมูลแล้วจะทำการหาค่าอัตราส่วน (k) ที่เกิดจากความแตกต่างระหว่างค่า x_i กับค่า $N(h)$ ซึ่งในที่นี้เราจะใช้ข้อมูลที่ระยะความสูง 9 km นั่นคือค่าตำแหน่งข้อมูลของ x จะมีค่าเท่ากับ 30 ซึ่งจะให้ระยะทางที่ 9 km และหลังจากที่ได้ค่า k แล้วก็จะนำค่าอัตราส่วนของความแตกต่าง k ไปคูณกับค่าของ $N(h)$ โดยทำการคูณตั้งแต่ x มีค่าเท่ากับหนึ่งถึงหนึ่งร้อย และหลังจากการคูณแล้วก็จะนำค่าที่ได้ไปหารกับค่าข้อมูลที่ได้ก็เกิดจากการนับจำนวนพัลส์ที่ได้จากการทดลอง ดังที่ได้กล่าวมาในบทที่ 5 โดยสามารถอธิบายได้โดยชุดข้อมูล $N(h)$ เป็นชุดข้อมูลจากค่าความสัมพันธ์ตามสมการในบทที่ 5 โดยสามารถเขียนได้ดังนี้

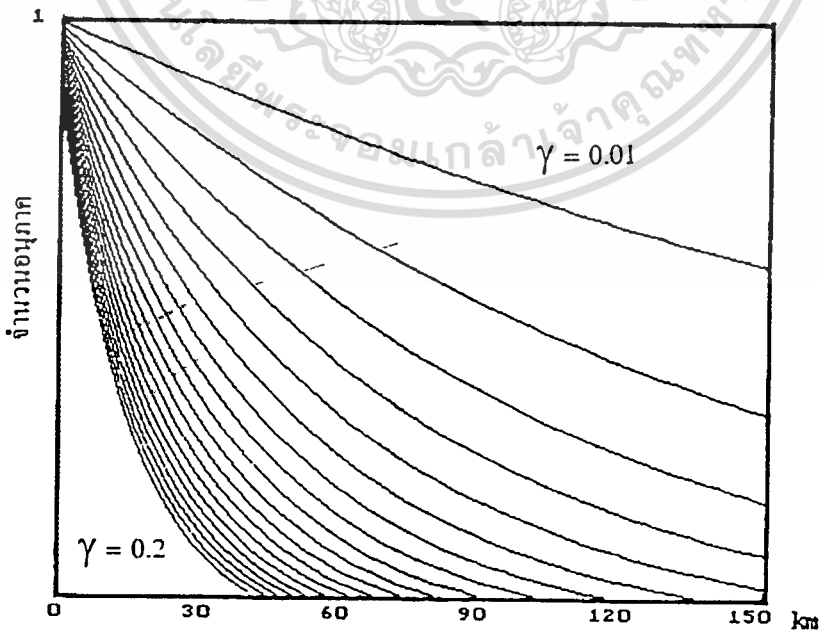
$$N(h) = A e^{-\gamma h}$$

โดยที่ A คือจำนวนอนุภาคที่ระดับพื้นดิน และในที่นี้จะให้มีค่าเท่ากับหนึ่ง

γ ค่าการลดลงของอนุภาคซึ่งจะมีค่าระหว่าง 0.1-0.2 และในที่นี้จะให้มีค่าเท่ากับ 0.1 ดังนั้นค่าจำนวนอนุภาคที่ลดลงเมื่อมีระยะทางความสูงเพิ่มขึ้นสามารถเขียนเป็นกราฟได้ดังในภาพที่

37

ภาพที่ 37



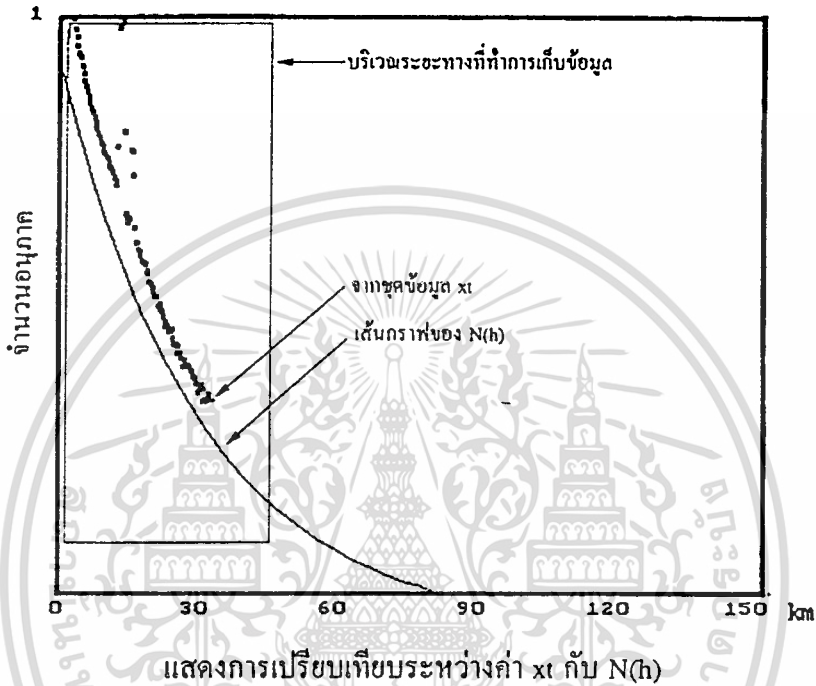
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนอนุภาคกับระยะความสูง ที่ค่า $\gamma = 0.01$ ถึง 0.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ โดยในแต่ละสัณกราฟมีค่าของ γ เพิ่มขึ้น 0.01 กดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

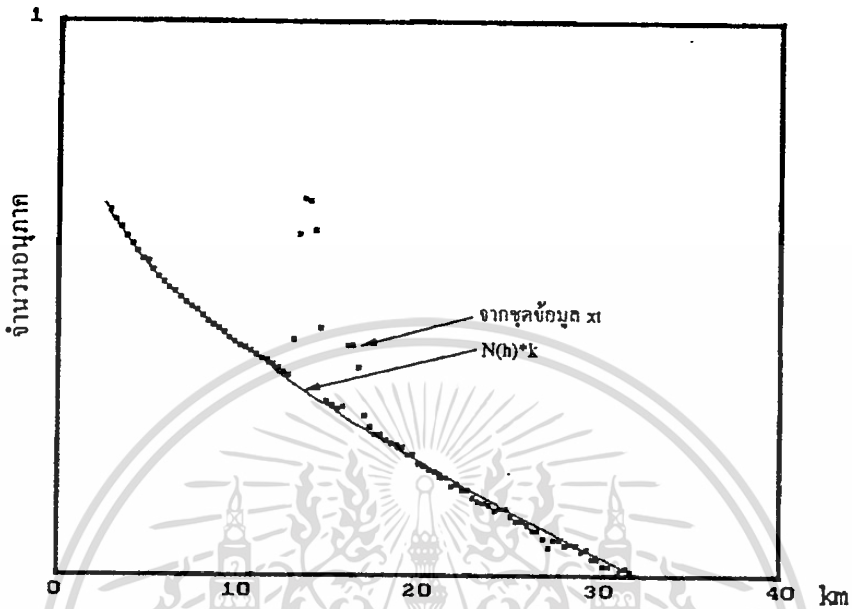
และเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการรวมข้อมูลทั้งหมด x_i มาเปรียบเทียบจะได้ลักษณะของรูปดัง
ในภาพที่ 38

ภาพที่ 38



โดยในภาพที่ 38 บริเวณรอบสี่เหลี่ยมเล็กในภาพแสดงบริเวณระยะทางที่ทำการเก็บข้อมูล และเส้นของค่า $N(h)$ และจากผลการเก็บข้อมูล x_i จะมีลักษณะเส้นกราฟที่เหมือนกัน แต่มีระดับค่าความสูงที่แตกต่างกัน ดังนั้นเราจึงหาอัตราส่วนของความแตกต่างได้ โดยคิดที่อัตราส่วนของข้อมูลที่ได้จากการทดลองหารด้วยค่า $N(h)$ เพื่อหาค่า k ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว และเมื่อได้ค่า k แล้วจึงนำไปคูณค่าในแต่ละส่วนของชุดข้อมูล $N(h)$ เพื่อให้ค่าในแต่ละส่วนของชุดข้อมูล $N(h)$ มีค่าเท่ากับผลของการเก็บข้อมูล และเมื่อทำการพิจารณาเฉพาะบริเวณระยะทางที่ทำการเก็บข้อมูลจะสามารถแสดงให้เห็นดังในภาพที่ 39

ภาพที่ 39



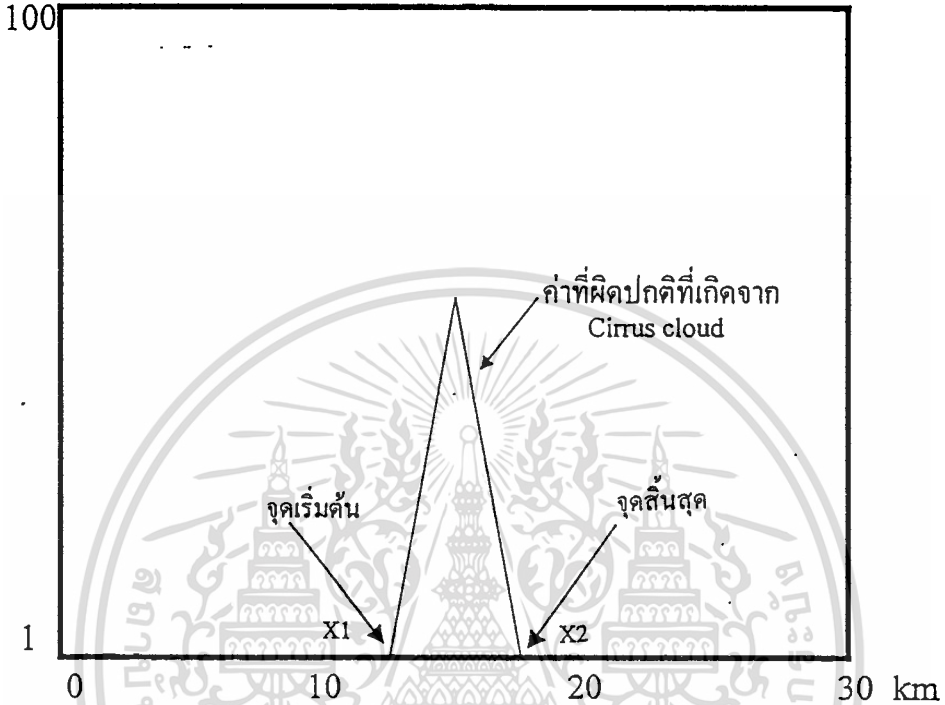
แสดงค่าเปรียบเทียบชุดข้อมูล $N(h)$ ที่คูณกับค่า k กับผลข้อมูล x_t

โดยในภาพที่ 39 แสดงให้เห็นเส้นกราฟ $N(h)$ ที่ได้คูณกับค่าคงที่ k แล้วซึ่งทำให้เส้นกราฟทับกับเส้นของชุดข้อมูล x_t ที่ได้จากการทดลอง

และในส่วนสุดท้ายของโปรแกรม Gph ในภาพที่ 35 จะนำชุดข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลมาทำการหารด้วยเส้นกราฟของ $N(h)$ ที่ได้คูณกับค่าคงที่ k แล้ว ผลที่ได้คืออัตราส่วน $R(h)$ โดยปกติในชั้นบรรยากาศในเงื่อนไขที่มีเฉพาะอะตอมหรือโมเลกุลของก๊าซเท่านั้น จะได้ผลของอัตราส่วน $R(h)$ มีค่าเท่ากับหนึ่งที่ทุกระดับความสูง แต่ผลผิดปกติที่ได้คือค่าความแตกต่างที่แสดงถึงข้อมูลที่ผิดปกติที่เกิดมาจากการสะท้อนจาก Cirrus cloud และเมื่อเรานำมาเขียนกราฟจะได้ดังในภาพที่ 40

ภาพที่ 40

ค่าอัตราส่วน $R(h)$



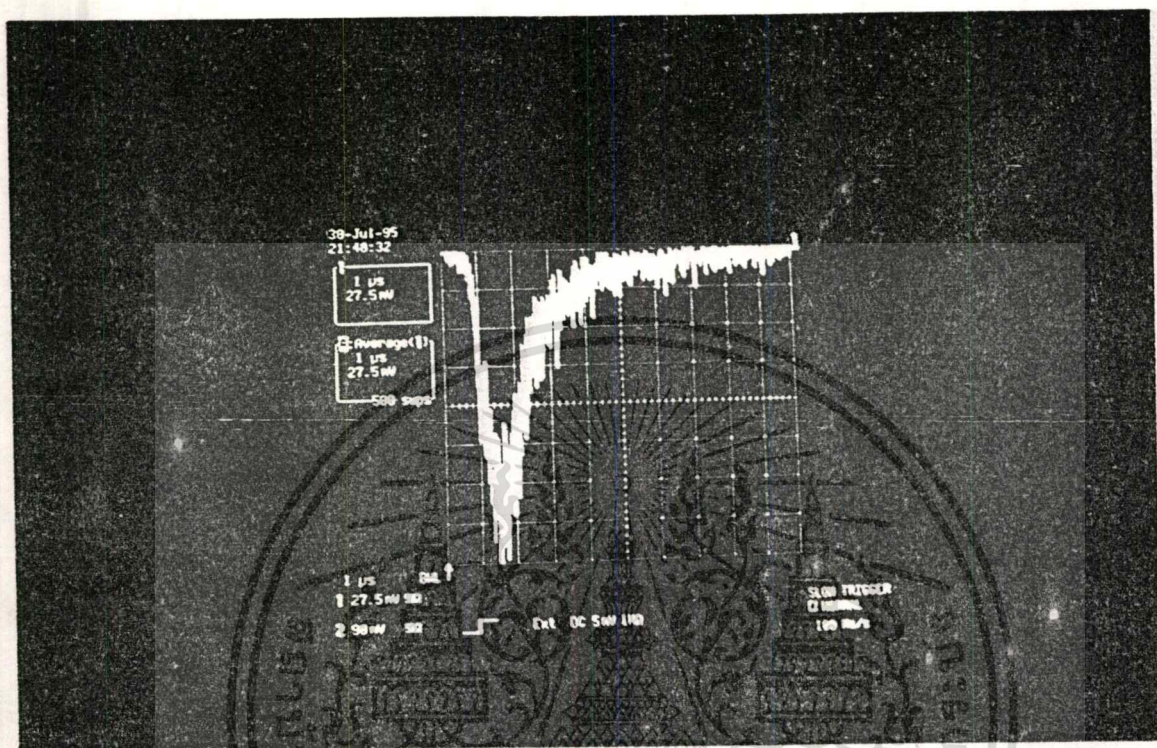
แสดงอัตราส่วนของ $R(h)$ ที่เกิดจาก Cirrus cloud

ในภาพที่ 40 แสดงถึงอัตราส่วนที่แตกต่างที่เกิดจาก Cirrus cloud ซึ่งมีผลทำให้ค่าของอัตราส่วน $R(h)$ มีค่ามากกว่าหนึ่ง ดังนั้นเราจึงสามารถทราบถึงระดับความสูงของ Cirrus cloud ได้ และในภาพที่ 40 จุดที่ $X1$ เป็นจุดเริ่มต้นของ Cirrus cloud ขณะที่จุด $X2$ เป็นจุดสิ้นสุดของ Cirrus cloud ทำให้ทราบถึงความหนาของ Cirrus cloud ได้ ซึ่งหมายถึงทำให้เราทราบถึงความหนาของชั้นบรรยากาศ Tropopause ได้

ผลการทดลอง

ในส่วนของการทดลองหลังจากที่ทำการปรับลำบีมของเลเซอร์ให้ทับกับลำบีมของ Telescope ดังที่ได้กล่าวในหัวข้อการทดลองแล้วจะมีผลตามภาพที่ 41

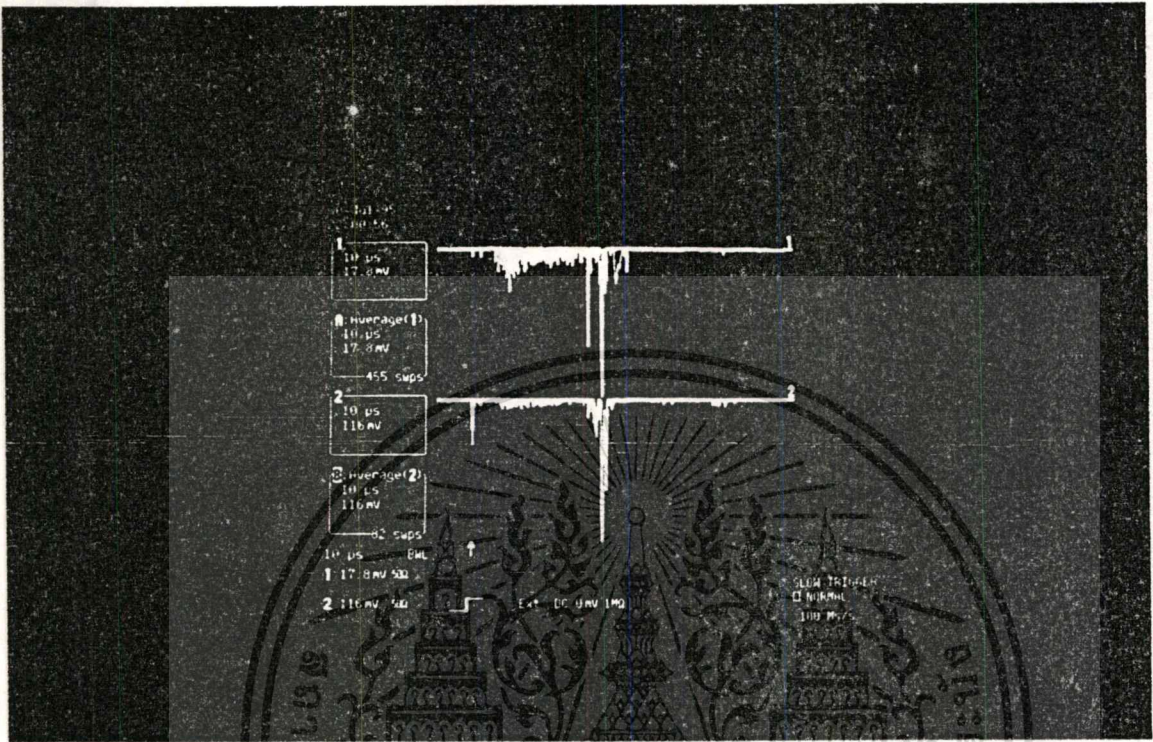
ภาพที่ 41



แสดงภาพถ่ายสัญญาณจาก LeCroy 9310

จากภาพที่ 41 เป็นรูปถ่ายจากคิจิตอลออสซิลโลสโคป ซึ่งจะเห็นรูปสัญญาณที่เกิดขึ้น เมื่อทำการปรับให้แนวบีมทั้งสองทับกัน และสัญญาณช่วงแรกจะหายไปเนื่องจากเป็นระยะเริ่มแรกที่ลำบีมของทั้งคู่ยังไม่ทับกัน และสัญญาณที่เห็นจะมีการลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากสัญญาณแปรผกผันกับระยะทางกำลังสอง และในภาพที่ 42 แสดงรูปถ่ายจากคิจิตอลออสซิลโลสโคป เมื่อปรับแนวลำบีมของทั้งคู่ให้ทับกันที่บริเวณชั้น Tropopause และสัญญาณที่เห็นเกิดจากการสะท้อนจาก Cirrus cloud ที่มีอยู่ที่บริเวณนั้น

ภาพที่ 42



แสดงรูปถ่ายจากคิจิตอลอสซิลโลสโคป เมื่อปรับแนวลำบีมของทั้งสองให้ทับกัน
ที่บริเวณชั้น Tropopause

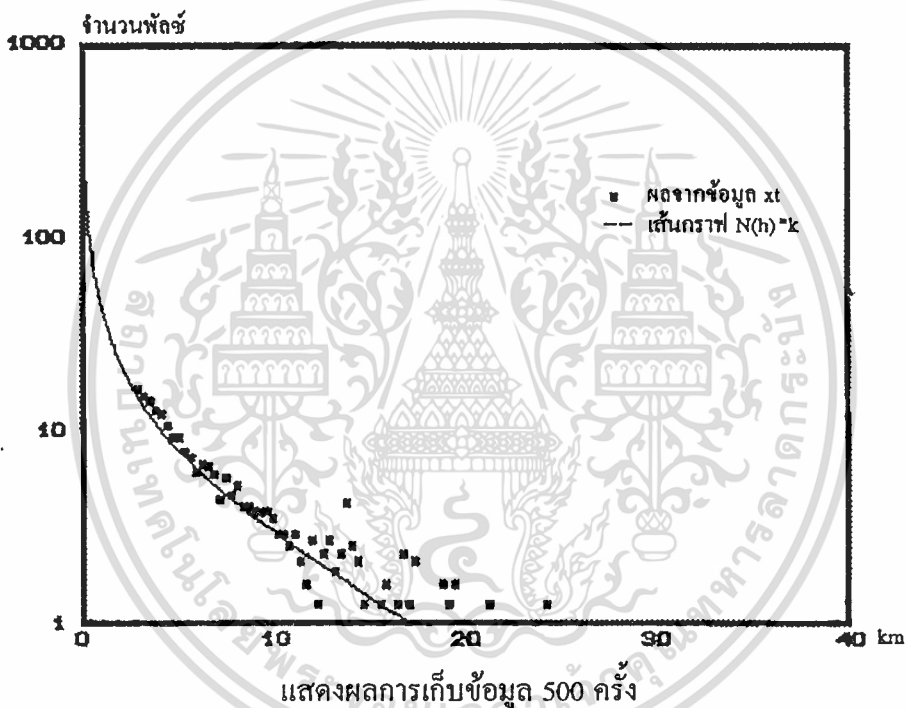
และจากที่ได้กล่าวในบทที่ 5 สัญญาณที่ออกจากหลอด PMT จะเข้าสู่ Discriminator และเข้าสู่ Counter เพื่อทำการนับจำนวนพัลส์เก็บเข้าสู่หน่วยความจำในคอมพิวเตอร์ และเมื่อนำผลมาประมวลผลจะเห็นได้ดังในภาพที่ 43 ถึงภาพที่ 46 โดยในภาพที่ 43 จะเป็นการเก็บข้อมูลเมื่อได้ส่งแสงเลเซอร์ขึ้นไป 500 ครั้ง จะเห็นได้ว่าข้อมูลจะกระจายออกจากเส้นทฤษฎีมากและในภาพที่ 44, 45 และ 46 จะเป็นการเก็บข้อมูลเมื่อได้ส่งแสงเลเซอร์ขึ้นไป 1000, 2000 และ 4000 ครั้งตามลำดับ จะเห็นได้ว่าในการเก็บข้อมูลเมื่อเพิ่มจำนวนครั้งในการส่งแสงเลเซอร์ค่าของข้อมูลจะรวมกลุ่มกันมากขึ้น และในภาพที่ 46 ซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลที่ส่งแสงเลเซอร์ขึ้นไป 4000 ครั้งจะเห็นได้ว่าค่าข้อมูลรวมกลุ่มกันถึงระยะทางโดยประมาณ 20 กิโลเมตรจากพื้นดิน และในการเก็บข้อมูลในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการเก็บข้อมูลที่ 5000 ครั้งของแสงเลเซอร์ที่ส่งขึ้นไป

และเมื่อนำข้อมูลจริงที่ได้ทำการเก็บ 5000 ครั้งมาห้กออกในแต่ ละจุดด้วยค่าของเส้นกราฟทางทฤษฎีจะได้ผลแตกต่างออกมดั่งที่เห็นในภาพที่ 47 โดยจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าเส้นกราฟของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

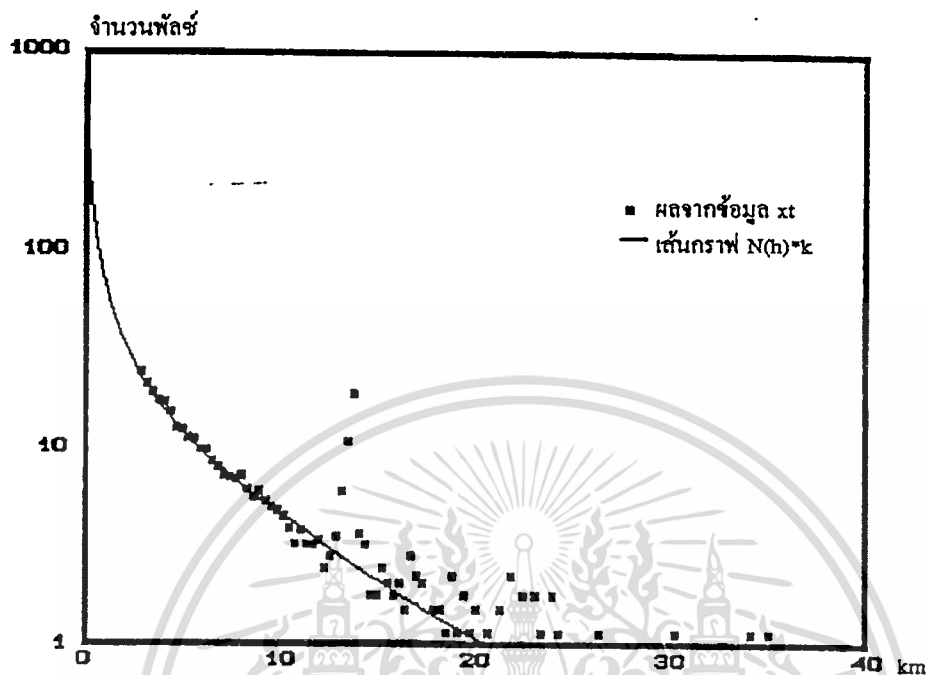
$N(h)*k$ จะเป็นปริมาณความหนาแน่นของอะตอมหรือโมเลกุลของก๊าซเท่านั้นดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ในบทที่ 2 และข้อมูลจริงที่ได้จะเป็นลักษณะเดียวกับเส้นกราฟของ $N(h)*k$ แต่จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นสูงมากอยู่จุดหนึ่งซึ่งเป็นผลมาจากการสะท้อนจากผลึกของ Cirrus cloud นั้นเอง โดยจะอยู่บริเวณความสูงประมาณ 12 ถึง 17 กิโลเมตร และเมื่อมีการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องผลของการประมวลผลของข้อมูลสามารถแสดงให้เห็นดังในภาพที่ 48 ซึ่งจะเห็นได้ว่าจำนวนของข้อมูลที่สะท้อนจาก Cirrus cloud มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

ภาพที่ 43



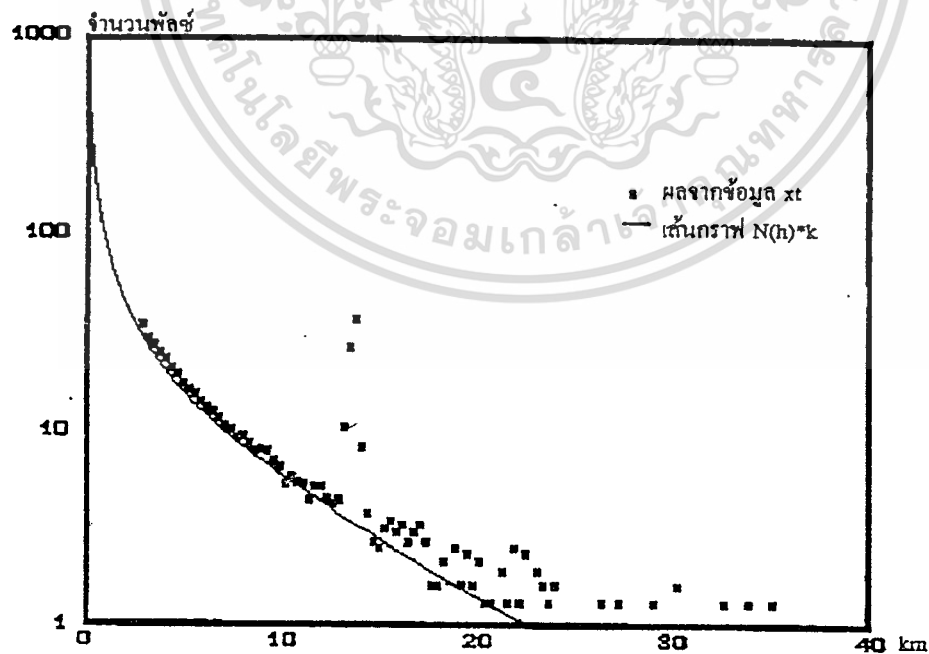
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 44



แสดงผลการเก็บข้อมูล 1000 ครั้ง

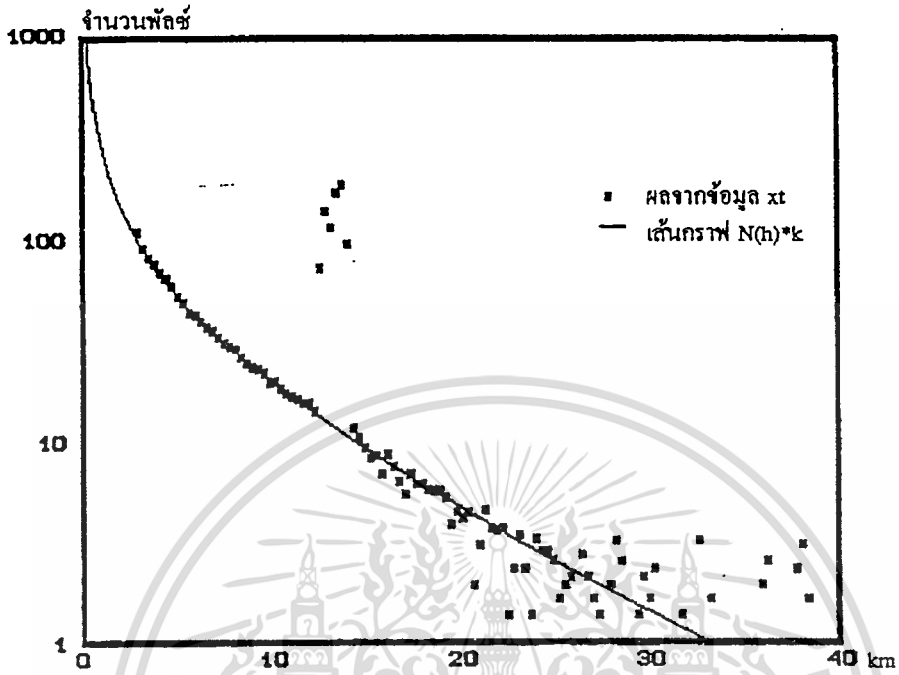
ภาพที่ 45



แสดงผลการเก็บข้อมูล 2000 ครั้ง

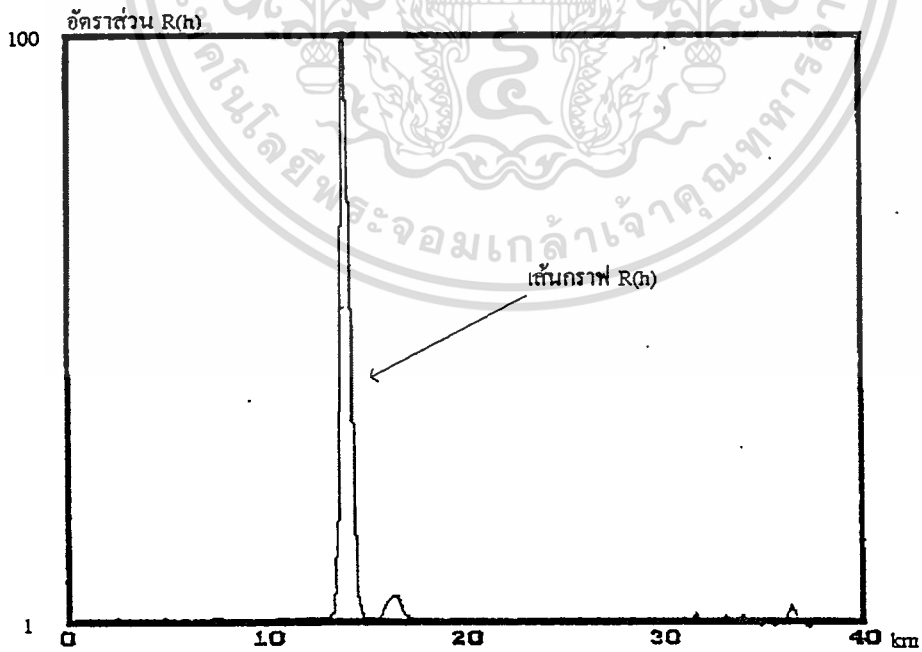
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 46



แสดงผลการเก็บข้อมูล 4000 ครั้ง

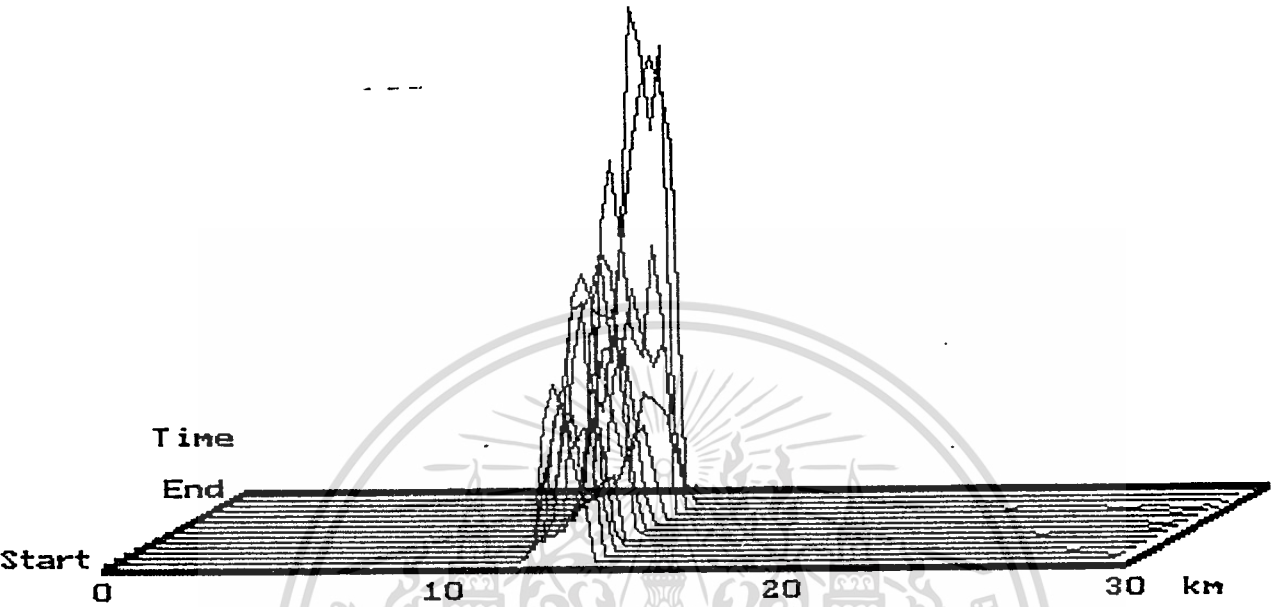
ภาพที่ 47



แสดงผลต่างที่เกิดจาก Cirrus cloud

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 48



แสดงค่าของ $R(h)$ ที่ใช้เวลาในการเก็บข้อมูล 120 นาที

ในภาพที่ 48 เป็นการเก็บข้อมูลที่ต่อเนื่องโดยใช้เวลาในการเก็บข้อมูล 120 นาที ผลของค่า $R(h)$ ที่เกิดจาก Cirrus cloud ปรากฏให้เห็นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งแสดงถึงบริเวณของชั้นบรรยากาศ Tropopause

ลักษณะความหนาของชั้นบรรยากาศ Tropopause

โดยที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อของการทดลองในภาพที่ 40 โดยในภาพที่ 40 มีจุดเริ่มต้นอยู่ที่ $X1$ และจุดสิ้นสุดอยู่ที่ $X2$ ซึ่งระหว่างสองจุดแสดงถึงปริมาณความหนาของชั้นบรรยากาศ Tropopause และจากผลข้อมูลที่ใช้ช่วงเวลาเก็บ 120 นาที ดังที่แสดงในภาพที่ 48 จะเห็นได้ว่าจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดมีการแปรเปลี่ยนอยู่ตลอดเวลา นั่นหมายถึงปริมาณความหนาของชั้นบรรยากาศ Tropopause มีค่าแปรเปลี่ยนอยู่ตลอดเวลา และเนื่องจากระบบของการทำงานหรือการหมุนเวียนของอนุภาคต่างๆ ในบรรยากาศเป็นระบบที่ใหญ่และซับซ้อน จึงเป็นการยากที่จะระบุถึงความหนาและสาเหตุของการเพิ่มขึ้นและลดลงของ Cirrus cloud ได้

บทที่ 8

สรุป และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

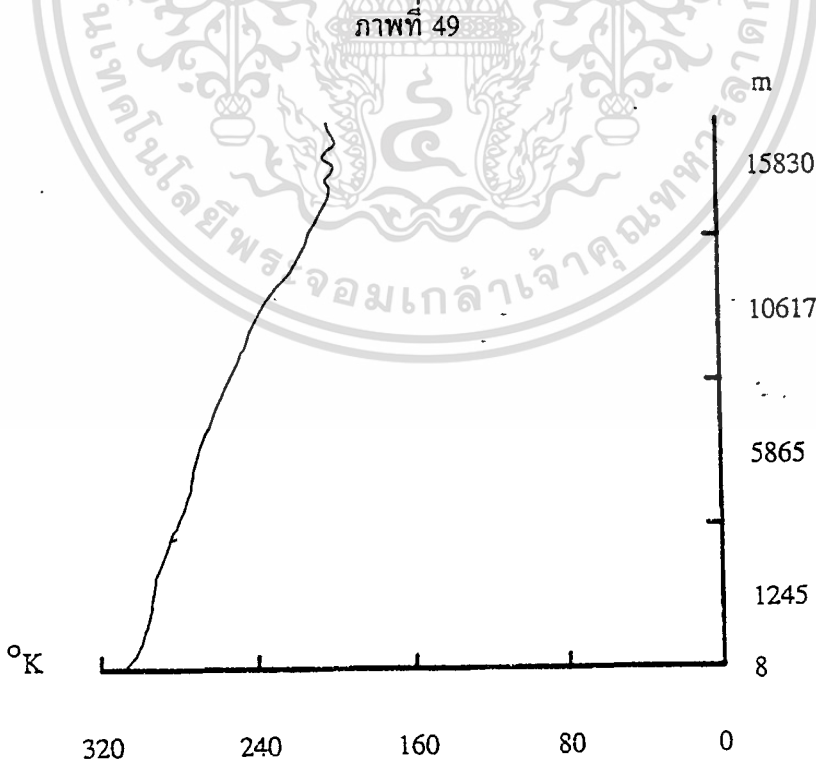
ในการเก็บข้อมูลเริ่มทำการเก็บเมื่อเดือนกุมภาพันธ์ 2538 จนถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2539 ที่แสดงให้เห็นดังในภาพที่ 50 ถึง 62 และในภาพที่ 55 ซึ่งเป็นข้อมูลของเดือนกรกฎาคม 2538 ซึ่งเริ่มเข้าสู่ฤดูฝน จากรูปจะเห็นได้ว่ามีสัญญาณที่เกิดจากการสะท้อนจากก้อนเมฆที่ระดับความสูง 3 ถึง 10 กิโลเมตร และในภาพที่ 56 และ 57 ซึ่งเป็นข้อมูลของเดือนสิงหาคมและกันยายน 2538 ซึ่งช่วงนี้ได้มีพายุเข้าสู่ประเทศไทยอย่างหนักและต่อเนื่อง ซึ่งเป็นผลให้เกิดน้ำท่วมทั่วประเทศไทย จนทำให้ช่วงนี้ไม่สามารถทำการเก็บข้อมูลได้ และจากภาพที่ 56 และ 57 จะเห็นได้ว่าสัญญาณที่ทำการวัดได้เกิดจากการสะท้อนจากก้อนเมฆที่ระดับต่ำ โดยมีระดับความสูงประมาณ 2 ถึง 5 กิโลเมตร และมีผลทำให้แสงเลเซอร์ไม่สามารถผ่านถึงไปได้และในภาพที่ 58 เป็นผลของการวัดในเดือนตุลาคม 2538 ซึ่งเป็นเดือนที่ใกล้หมดฤดูฝนแต่จากการเก็บข้อมูลยังปรากฏสัญญาณที่สะท้อนจากก้อนเมฆอยู่ซึ่งจากรูปจะเห็นก้อนเมฆอยู่สูงประมาณ 7 ถึง 10 กิโลเมตร และจากภาพที่ 50 เป็นผลของการวัดของเดือนกุมภาพันธ์ 2538 เมื่อทำการเปรียบเทียบกับภาพที่ 62 ที่เป็นผลการวัดของเดือนกุมภาพันธ์ 2539 จะเห็นได้ว่าระดับความสูงของชั้นบรรยากาศ Tropopause มีค่าอยู่ที่ระดับใกล้เคียงกัน

และผลจากการวัดทำให้รู้ว่า ที่ตำแหน่งของประเทศไทยซึ่งอยู่บริเวณเส้นศูนย์สูตรมีระดับความสูงของชั้นบรรยากาศ Tropopause มีค่าอยู่ประมาณ 15 กิโลเมตร ซึ่งมีค่าแตกต่างประมาณ 5-6 กิโลเมตรเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศแถบยุโรปซึ่งมีความสูงอยู่ประมาณ 8-11 กิโลเมตร และผลจากการวัดความหนาของชั้นบรรยากาศ Tropopause มีค่าประมาณ 4-6 กิโลเมตร ซึ่งข้อมูลที่ี้ได้สามารถนำไปใช้ในทางด้านอื่นๆอาทิเช่น ในระบบสื่อสารดาวเทียมที่ใช้คลื่นความถี่ต่างๆว่าสัญญาณจะมีค่าสูญเสียในอากาศเป็นเท่าใดแน่นอนในช่วงระหว่างการติดต่อมายังพื้นดิน หรือในระบบ Remote Sensing ที่ใช้ในการทำภาพถ่ายดาวเทียม รวมไปถึงระบบเรดาร์ต่างๆ ซึ่งระบบเหล่านี้จำเป็นที่จะต้องรู้ค่าลดทอนของสัญญาณที่ถูกต้อง และการลดทอนของสัญญาณขึ้นอยู่กับหลายตัวแปร และระยะทางของแต่ละตัวกลางของการเคลื่อนที่ของคลื่นก็เป็นตัวแปรหนึ่ง ซึ่งข้อมูลที่ี้หาได้สามารถ

นำไปคำนวณได้ถูกต้องยิ่งขึ้น เพราะในการส่งดาวเทียมคงจะขึ้นไปแก้ไขได้ไม่ถนัดนัก หรือระบบการสื่อสารที่อาศัยการสะท้อนกลับหมดจากรอยต่อของชั้นบรรยากาศ

ความถูกต้องของค่าระดับความสูง Tropopause ที่ได้

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าระดับความสูงของชั้นบรรยากาศ Troposphere ในแต่ละจุดบนพื้นโลกมีค่าไม่เท่ากัน โดยในแถบประเทศยุโรป จะมีระดับความสูงประมาณ 8-11 km และโดยนิยามของการแบ่งระดับชั้นบรรยากาศจะอาศัยจุดของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 1 หรือแสดงให้เห็นดังในภาพที่ 3 ของบทที่ 1 โดยในแต่ละรอยต่อของชั้นบรรยากาศจะเป็นจุดเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ โดยเพิ่มจากน้อยไปมากหรือจากมากไปน้อย สลับกันตามลำดับดังที่แสดงให้เห็นในภาพที่ 3 ของบทที่ 1 และโดยนิยามระหว่างรอยต่อของชั้นบรรยากาศอุณหภูมิจะมีค่าคงที่ ดังนั้นในการเปรียบเทียบความถูกต้องจึงต้องอาศัยข้อมูลของอุณหภูมิโดยวิธีการวัดจะส่งบอลลูนขึ้นไปในอากาศ ซึ่งแสดงกราฟจากข้อมูลที่ได้อ้างในภาพที่ 49



แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระยะความสูง

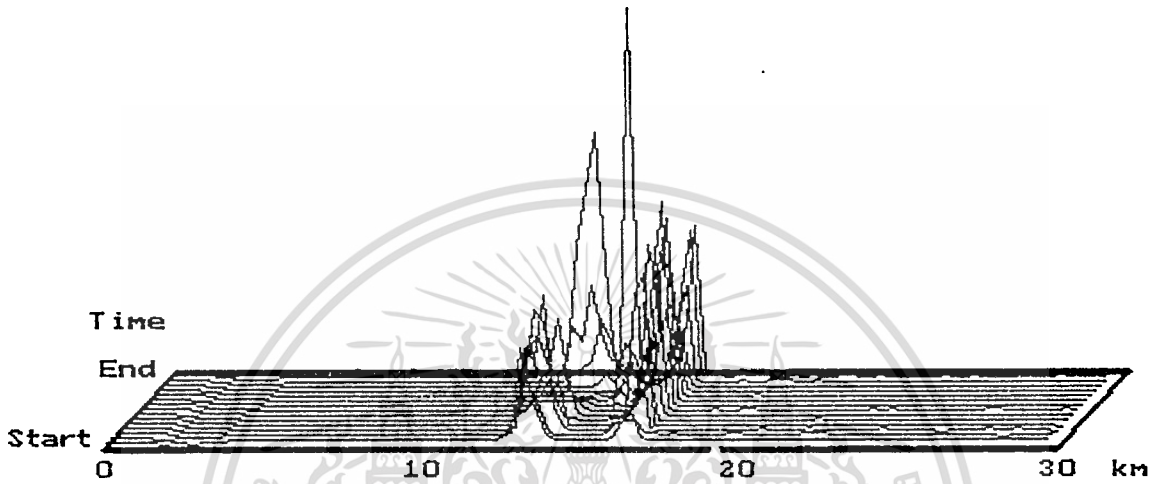
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจากภาพที่ 49 จะเห็นว่าอุณหภูมิจะเริ่มมีค่าคงที่ที่ระยะความสูงประมาณ 14-15 km ซึ่งเป็นผลที่สอดคล้องกับผลของการทดลองที่ได้และเมื่อระยะเกิน 16 km ขึ้นไปแล้ว ข้อมูลเกิดการขาดหาย สาเหตุเนื่องมาจากบอลลูนเกิดระเบิด เนื่องจากแรงดันของอากาศที่กระทำกับบอลลูนมีค่าน้อยที่ระยะทางสูงขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้บอลลูนเกิดระเบิดซึ่งเป็นผลทำให้ไม่สามารถได้ข้อมูลที่จุดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ซึ่งตามนิยามเมื่อเลเยรยอดของชั้นบรรยากาศไปแล้วอุณหภูมิจะต้องเพิ่มขึ้นอีก

แนวทางการปรับปรุงและการพัฒนา

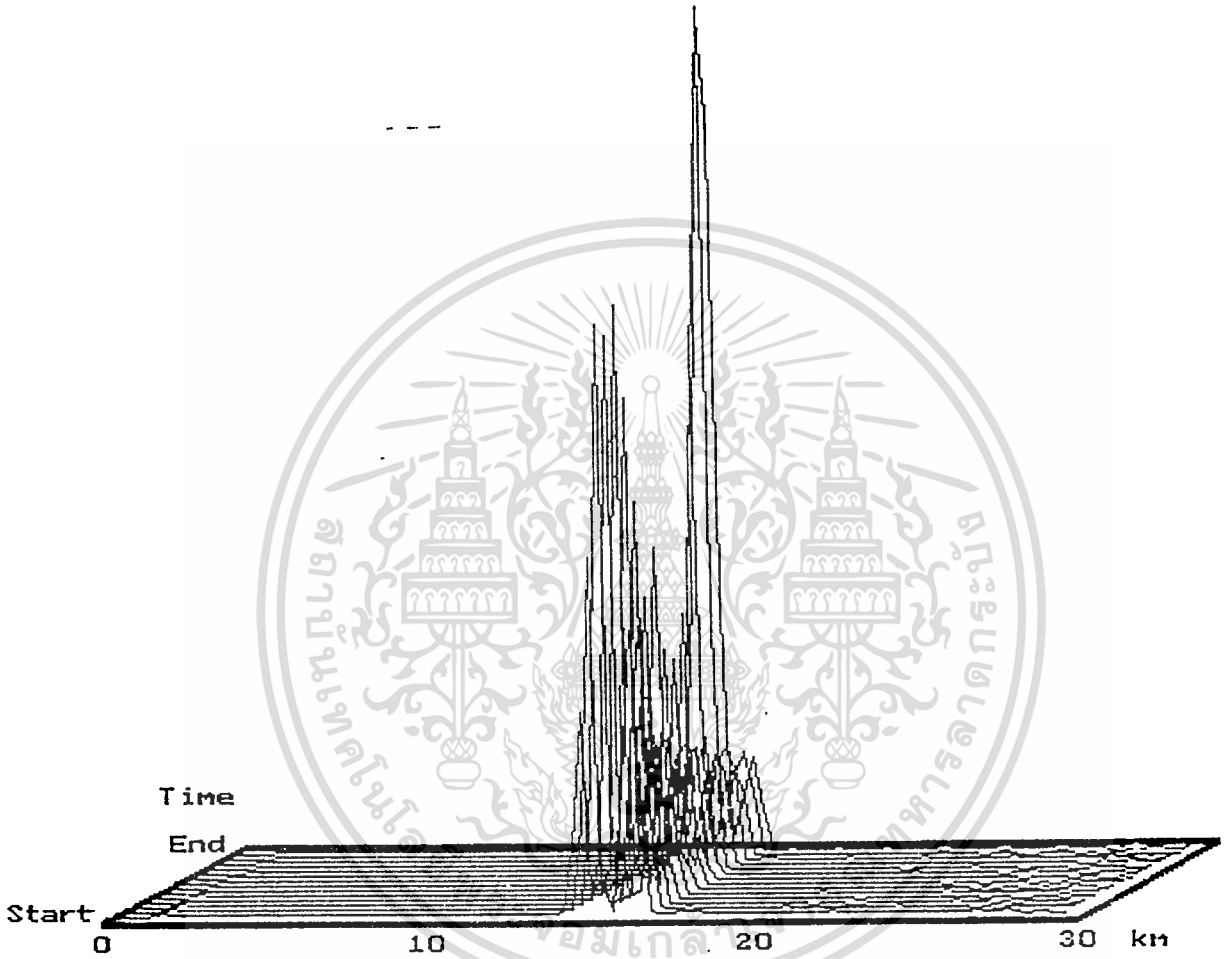
ในการทำงานของระบบจะหาค่าเพียงตำแหน่งเดียว ในการปรับปรุงหรือแนวทางการพัฒนาต่อไป อาจติดตั้งระบบทั้งหมดให้อยู่บนรถเพื่อสามารถเคลื่อนที่ไปวัดหรือทำการหาค่าที่จุดอื่นอีกต่อไปได้ และในระบบมีการส่งเลเซอร์อยู่ตำแหน่งเดียวซึ่งไม่สามารถครอบคลุมพื้นที่ได้กว้างในบริเวณนั้น ๆ แนวทางพัฒนาอาจติดตั้งชุดสแกนเพิ่มขึ้นเพื่อให้มีการเก็บข้อมูลที่ครอบคลุมพื้นที่ได้กว้างขึ้นตามองศาที่เปลี่ยนไปของเครื่องสแกนและในการพัฒนาอาจเพิ่มกำลังส่งของเครื่องเลเซอร์เพื่อให้ได้ระยะทางที่สูงขึ้นหรือเปลี่ยนชนิดของเลเซอร์ เพื่อทำการตรวจหาอนุภาคชนิดอื่น ๆ ต่อไป

ภาพที่ 50



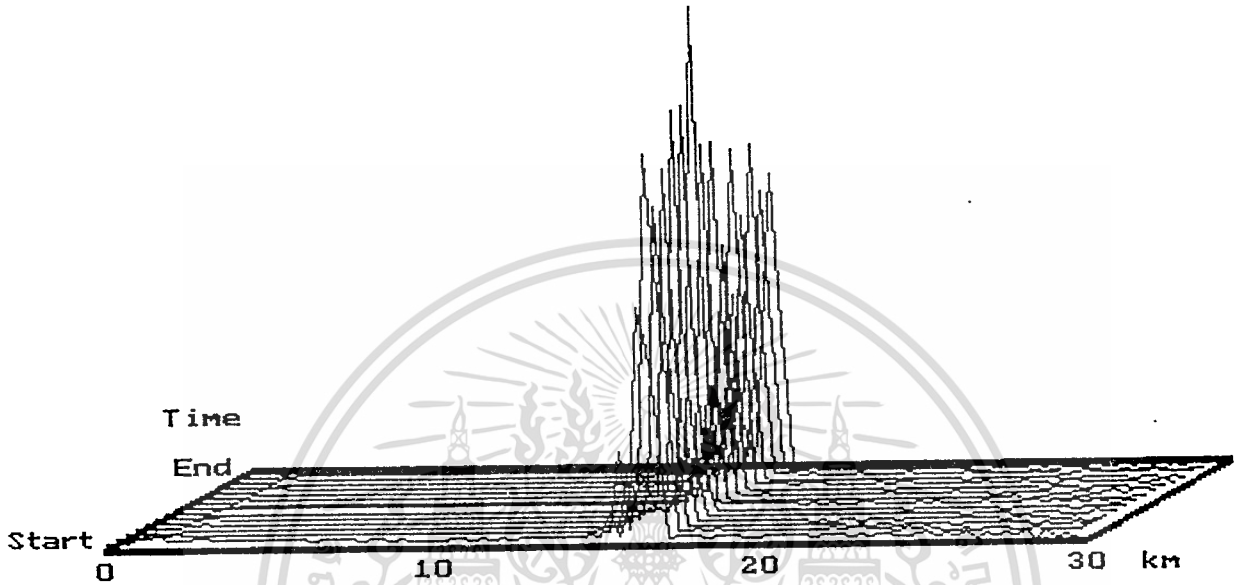
แสดงค่าของ $R(h)$ ที่ใช้เวลาเก็บ 120 นาที ในวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2538

ภาพที่ 51



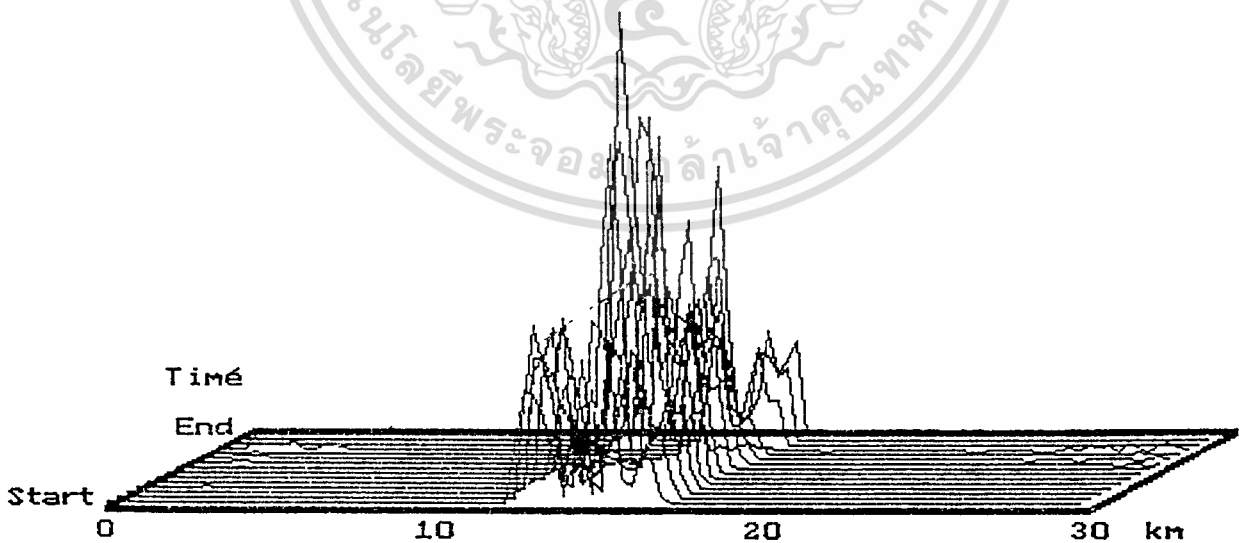
แสดงค่าของ $R(h)$ ที่ใช้เวสเก็บ 120 นาที ในวันที่ 6 มีนาคม 2538

ภาพที่ 52



แสดงค่าของ $R(h)$ ที่ใช้เวลาเก็บ 120 นาที ในวันที่ 3 เมษายน 2538

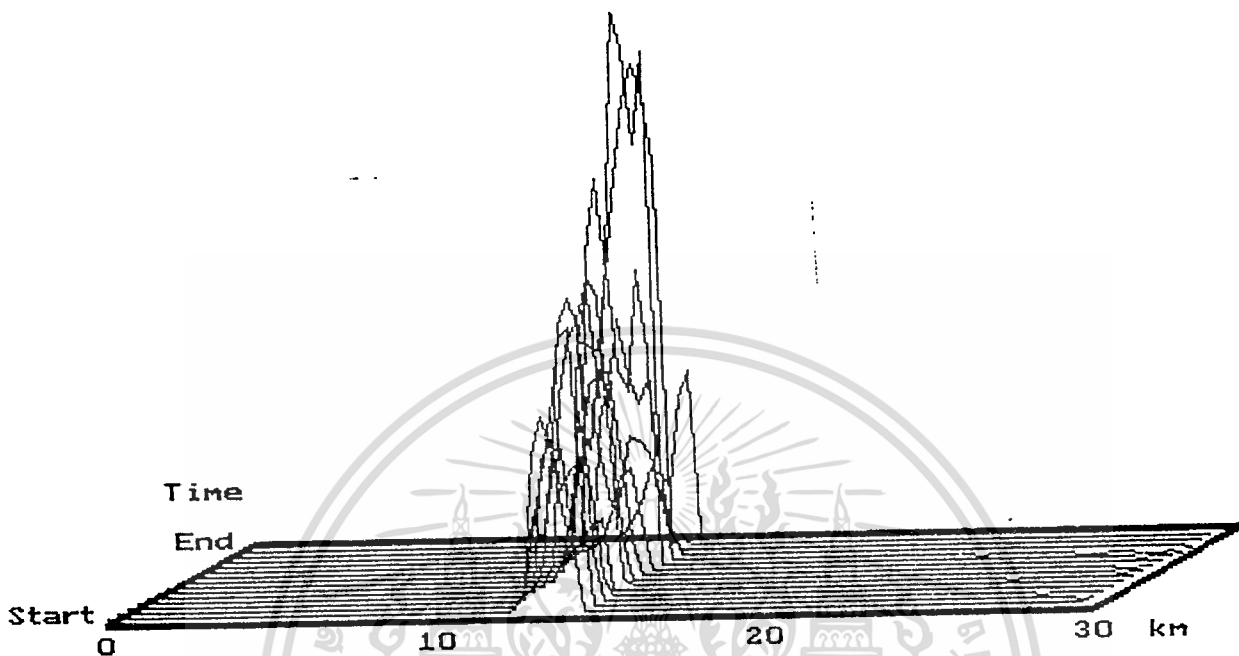
ภาพที่ 53



แสดงค่าของ $R(h)$ ที่ใช้เวลาเก็บ 120 นาที ในวันที่ 16 พฤษภาคม 2538

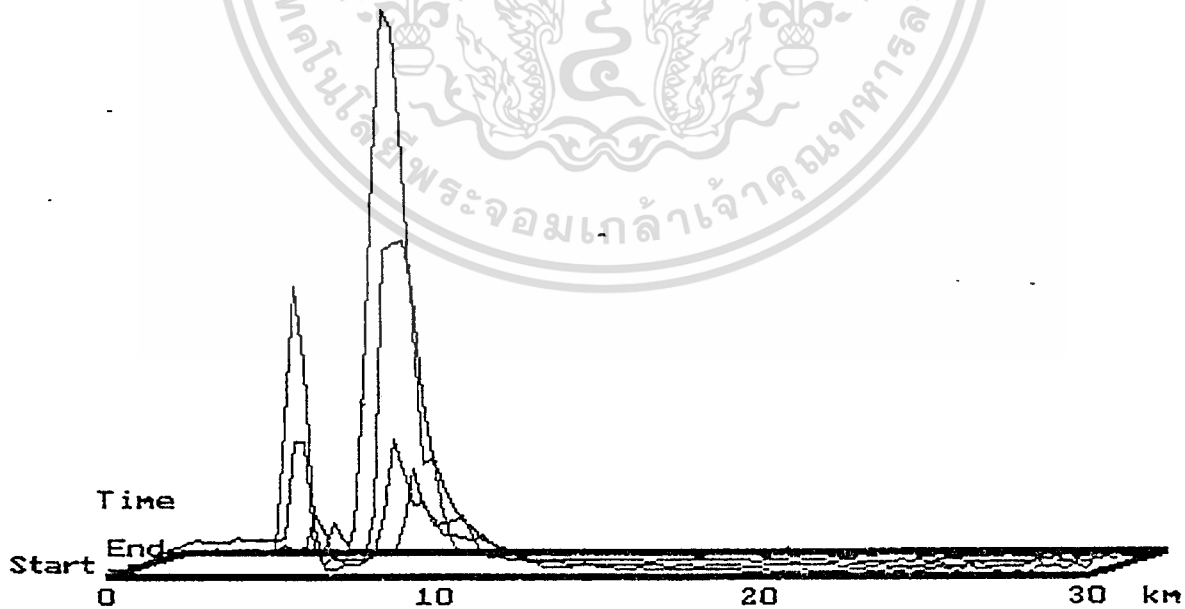
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 54



แสดงค่าของ $R(h)$ ที่ใช้เวลาเก็บ 120 นาที ในวันที่ 21 มิถุนายน 2538

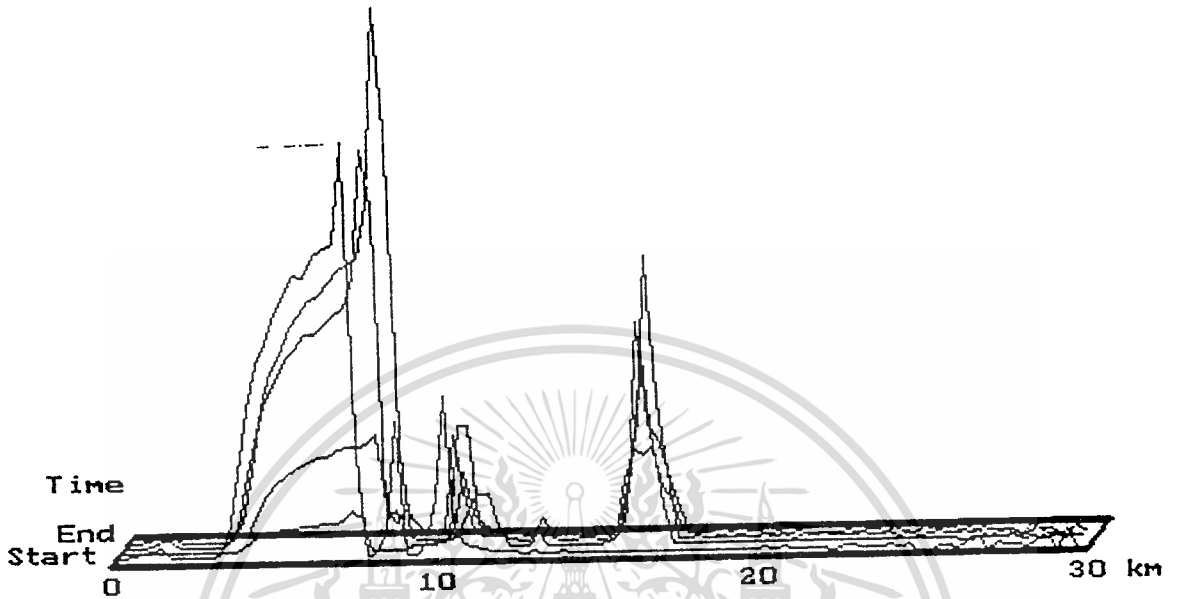
ภาพที่ 55



แสดงค่าของ $R(h)$ ที่ใช้เวลาเก็บ 120 นาที ในวันที่ 7 กรกฎาคม 2538

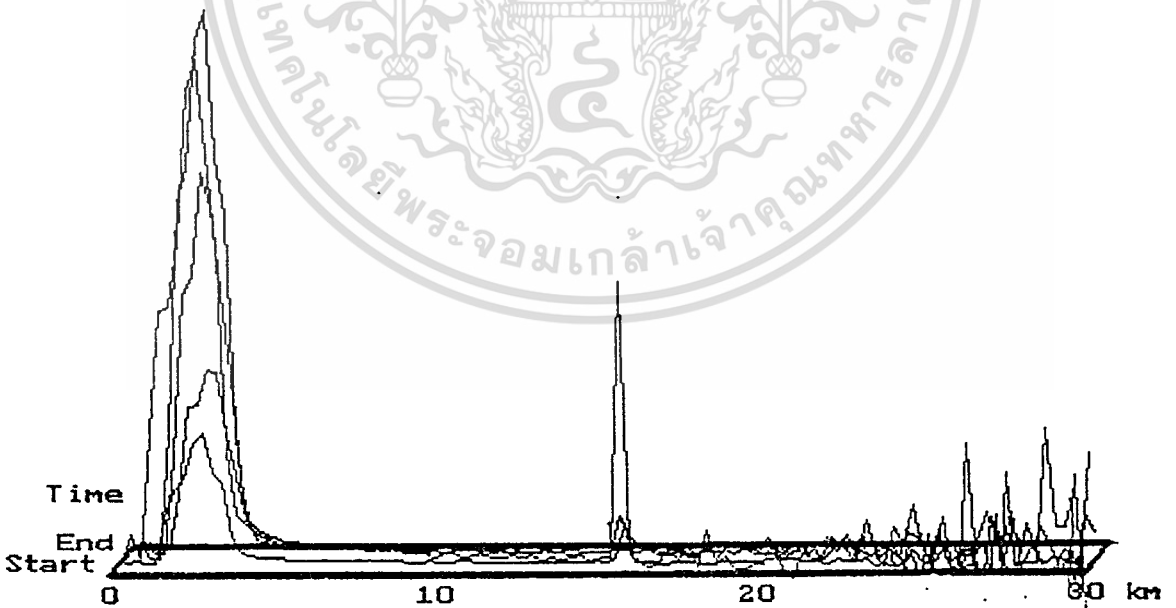
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 56



แสดงค่าของ $R(h)$ ที่ใช้เวลาเก็บ 120 นาที ในวันที่ 28 สิงหาคม 2538

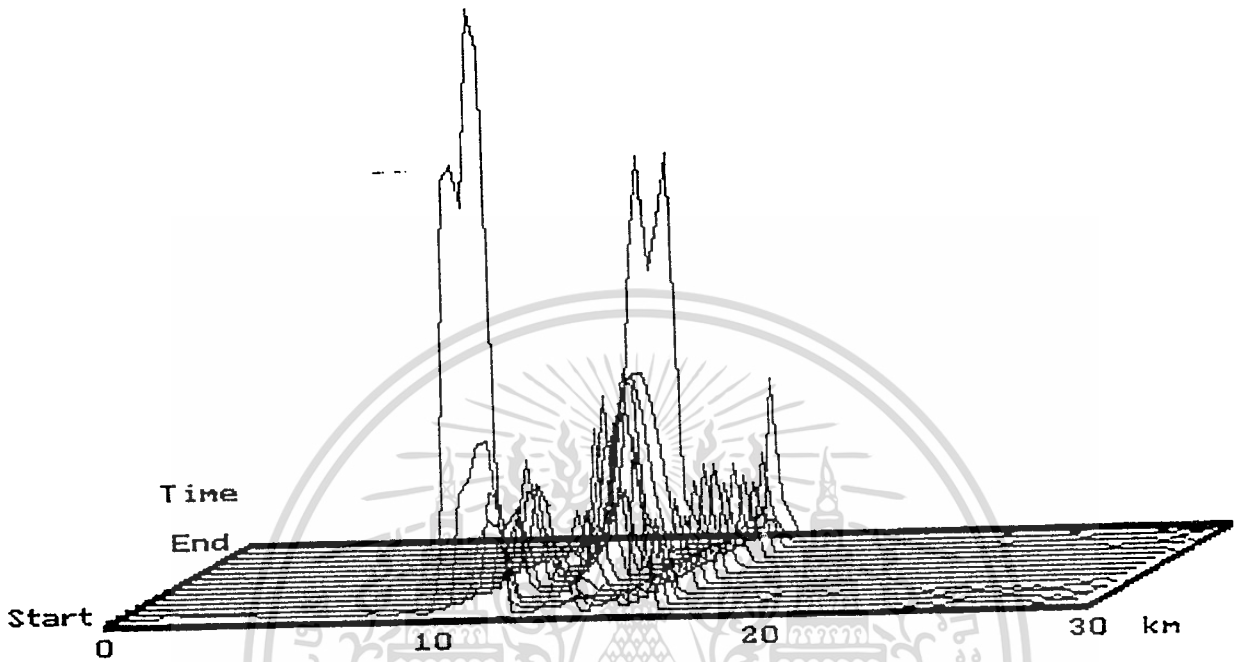
ภาพที่ 57



แสดงค่าของ $R(h)$ ที่ใช้เวลาเก็บ 120 นาที ในวันที่ 7 กันยายน 2538

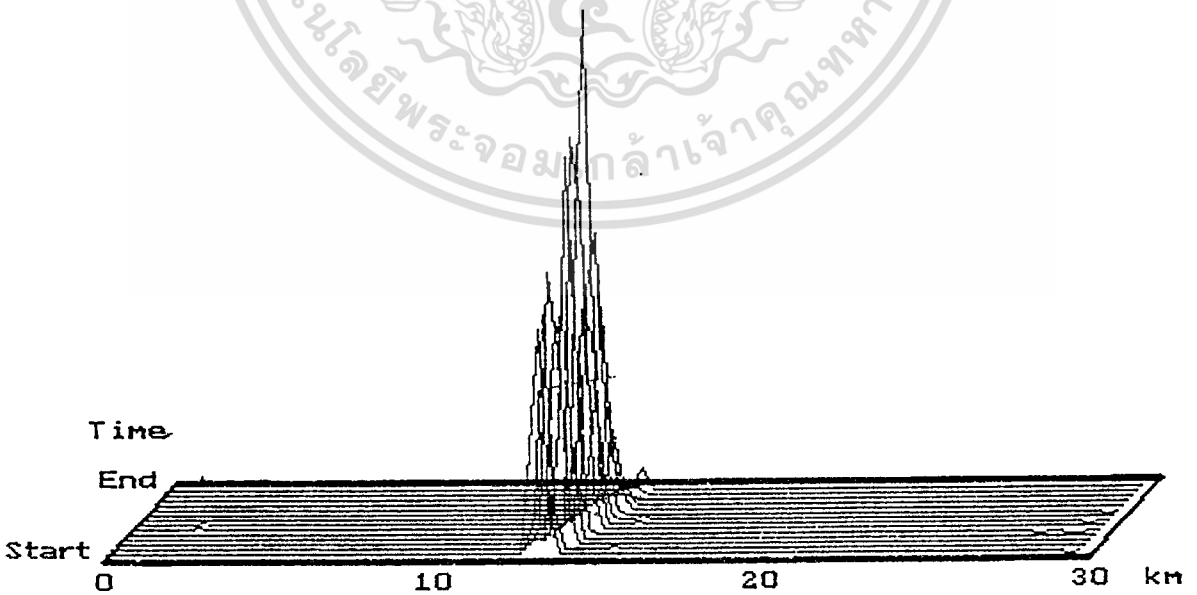
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 58



แสดงค่าของ $R(h)$ ที่ใช้เวลาเก็บ 120 นาที ในวันที่ 18 เดือนตุลาคม 2538

ภาพที่ 59

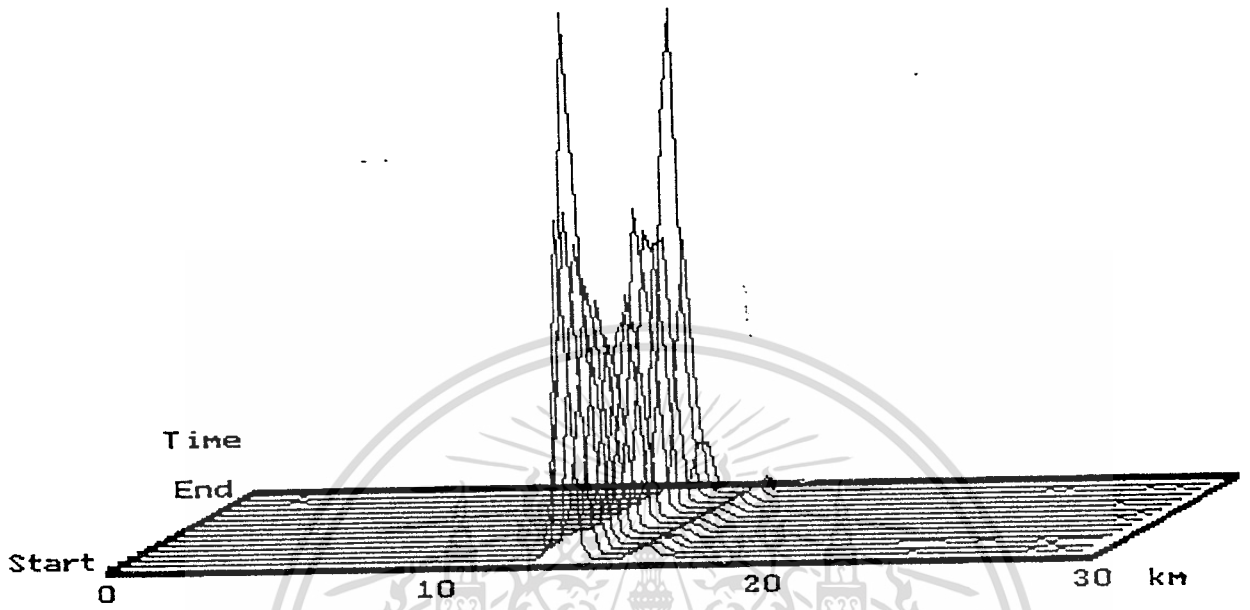


แสดงค่าของ $R(h)$ ที่ใช้เวลาเก็บ 120 นาที ในวันที่ 10 พฤศจิกายน 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

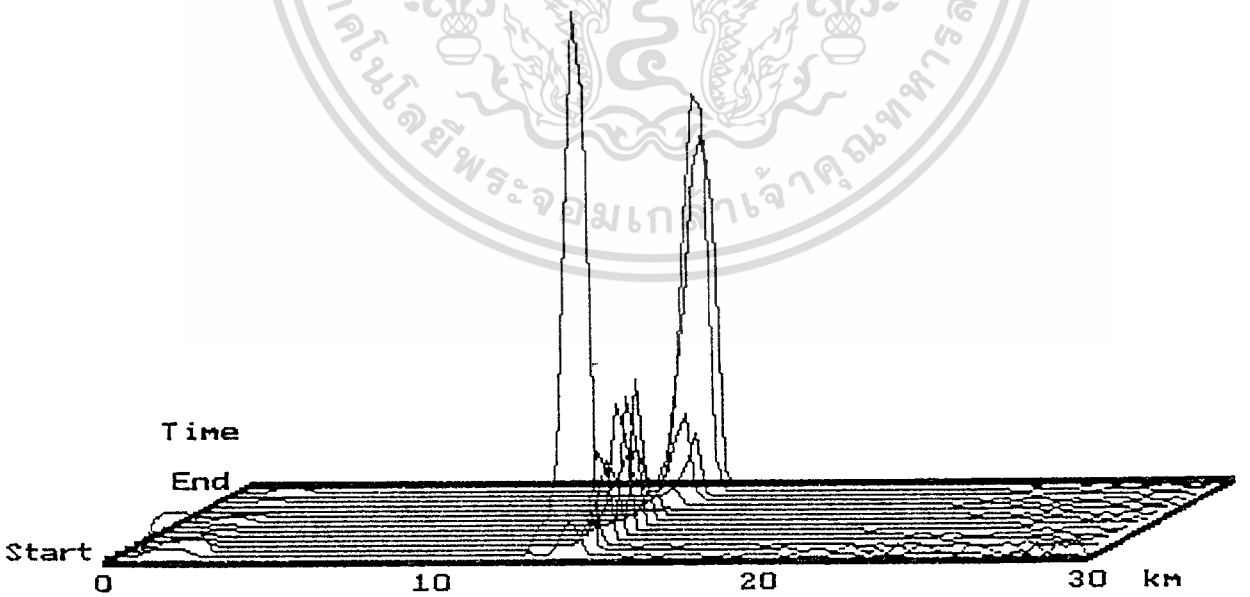
ไปว่ากรณีใดที่สิ่งนี้ ลึกซึ้งกว่ามีใช้ด้วยมือเขา และต้องวางใจถึงสิ่งนี้แล้วขอเอกสารทุกครั้งที่มีวางไปให้

ภาพที่ 60



แสดงค่าของ $R(h)$ ที่ใช้เวลาเก็บ 120 นาที ในวันที่ 20 ธันวาคม 2538

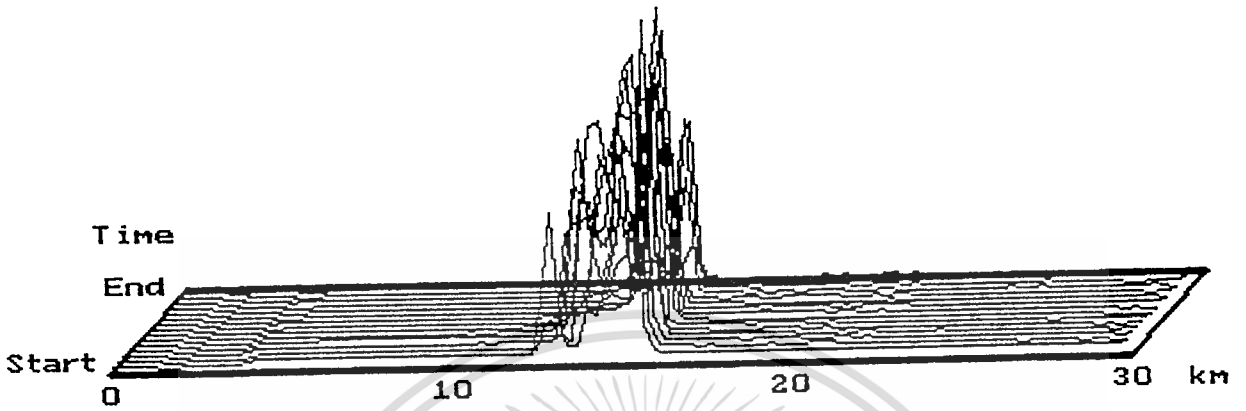
ภาพที่ 61



แสดงค่าของ $R(h)$ ที่ใช้เวลาเก็บ 120 นาที ในวันที่ 14 มกราคม 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 62



แสดงค่าของ $R(h)$ ที่ใช้เวลาเก็บ 120 นาที ในวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539



บรรณานุกรม

- [1] M. I. Snolnik, "Radar Handbook," *McGraw-Hill*, 1980
- [2] C. Elachi, "Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing," *John Wiley & Sons*, 1987.
- [3] P.V. Hobbs, "Aerosol-cloud-Climate Interaction," *Academic Press, Inc.* 1993.
- [4] B. J. Finlayson-Pitts, J. N. Pitts, Jr., "Atmospheric Chemistry : Fundamental and Experimental Techniques," *John Wiley & Sons*, 1993.
- [5] A.V. Jelalian, "Laser Radar System," *Artech House*, 1992.
- [6] Japan Association on Remote Sensing, "Remote Sensing Note," 1995
- [7] T.G. Kyle, "Atmospheric Transmission, Emission and Scattering," *Pergamon Press*, 1991.
- [8] S.A. Hovanessian, "Introduction to sensor systems," *Artech House*, 1988.
- [9] R.M. Measures, "Laser Remote Sensing Fundamental and Application," *John Wiley & Sons*, 1983.
- [10] T. E. Jenkins, "Optical Sensing Techniques and Signal Processing," *Prentice Hall*, 1987.
- [11] M.P.M. Hall, "Effect of the troposphere on radio communication," *Peter Peregrinus Ltd*, 1979
- [12] T. Itabe, K. Mizutani, "Observation of pinatubo volcanic cloud at Wakkanai," *17 th International Laser Radar Conference at Sendai Japan*, pp.434, July 1994.
- [13] E. V. Browell, "Differential Absorption Lidar Sensing of Ozone," *Proc. IEEE*, Vol, 77, 3, March 1989.
- [14] G. Fernald, M. Herman and A. Reagan, "Determination of Aerosol Height Distributions by Lidar," *J. Appl. Meteorology*, pp.482, 1971.
- [15] R.J. Allen and C. M. R. Platt, "Lidar for multiple backscattering and depolarization observation," *J. Appl. Optic*, Vol. 16, No 12, pp.3193, 1977



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include<stdio.h>
#include<stdlib.h>
#include<string.h>
#include<math.h>
#include<conio.h>
#include<graphics.h>
#include<alloc.h>

void main(void);
void grph(void);
void calhigh(void);
void fileread(void);
void calcnoise(void);
void drawborder(float x, float y);
void changetextstyle(int font, int direction, int charsize);
static char m[]="c:\\mcsp\\data\\MROPC";
static char mn[]="c:\\mcsp\\data\\MZPC";
long int buff[512+64],bufs[512];
char fh[10][25];
int scn[10],scs[10],sce[10];
int xi,yi,xe,ye,sc;
double c=2.99792458e8;
double mz[150],zi,ze,z;
double mro[150],x,f;
double r[150],ns,noise[10];
double mza[512],mroa[150];
double bufa[512];
int fnum;
#define X0 200 /* upper-left corner of every graph */
#define Y0 50
#define X1 600

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#define Y1 350                /* lower-right corner of every graph */
#define XW 400                /* X-width of every graph */
#define YW 300
FILE *ep,*fp,*gp,*wp;
void main(void)    - - -
{
    int g_driv=DETECT,g_mode;
    char ch;
    fileread();
    initgraph(&g_driv,&g_mode,"c:\\borlandc\\bgi");
    setviewport(0,0,639,399,0);
    cleardevice();
    setcolor(7);
    grph();
    restorecrtmode();
    closegraph();
    return;
}
long int mull0(int j);
void calhight(void)
int i,j,k;
int h;
char buffer[10];
double disoff;

printf("Enter caribration height\n(km, in double) = ");
scanf("%lf",&z);
for(k=0;mza[k]<39.8e3;k++) {
    if(mza[k]>z*1.e3) {
        if(bufa[k]<=0.) {
            f=0.001/mroa[k];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        break;
    }
else {
    f=bufa[k]/mroa[k];
    break;
}
}

for(k=0;mza[k]<39.8e3;k++)
    r[k]=bufa[k]/(mroa[k]*f);
drawborder(4.0,3.0);
changetextstyle( DEFAULT_FONT, HORIZ_DIR, 1 );
settextjustify( RIGHT_TEXT, CENTER_TEXT );
h = textheight( "H" );
for( i=0 ; i<=3 ; i++ ){
    itoa(mul10(i), buffer, 10 );
    outtextxy(X0-h, Y1-YW/3.0*i, buffer );
}
settextjustify( CENTER_TEXT, TOP_TEXT );
for( i=0 ; i<=40 ; i+=10 ){
    itoa( i, buffer, 10 );
    outtextxy( X0+XW/40.0*i, Y1 + (h/2), buffer );
}
setlinestyle(SOLID_LINE,0,NORM_WIDTH);
for(j=1;mza[j]<98.0e3;j++) {
    if (mza[j]>40.e3) {
        disoff=60.e3;
        setcolor(BLUE);

```

```

else {
    disoff=0.0;
    setcolor(RED);
}
xi=(int)(X0+100.*(mza[j-1]-disoff)*1.e-4);
xe=(int)(X0+100.*(mza[j]-disoff)*1.e-4);
if((zi=bufa[j-1])<=0.)
    zi=0.001;
else
    zi=bufa[j-1];
if((ze=bufa[j])<=0.)
    ze=0.001;
else
    ze=bufa[j];
yi=(int)(Y1-50.*log10(zi));
ye=(int)(Y1-50.*log10(ze));
line(xi,yi,xe,ye);
}
yi=(int)(Y1-50.*log10(ns));
setcolor(GREEN);
line(0,yi,600,yi);
setcolor(WHITE);
for(j=1;mza[j]<39.8e3;j++) {
    xi=(int)(X0+100.*mza[j-1]*1.e-4);
    xe=(int)(X0+100.*mza[j]*1.e-4);
    yi=(int)(Y1-50.*log10(mroa[j-1]*f));
    ye=(int)(Y1-50.*log10(mroa[j]*f));
    line(xi,yi,xe,ye);
}
}

```

เอกสารนี้เขียนขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}

void fileread()
{
char fi[40],fj[25],ff[10];
char *dn,copy[5],ch[10],fdata[10];
char flist[25]="c:\nmcsp\data\A";
FILE *in;

int    i,j,k,conflag;

/*printf("File list name ? (enter con if you want to type from keyboard) ");
scanf("%s",&flist);*/
strcpy(flist,"con");
conflag = strcmp(flist,"con");
if (!conflag) printf("How many file heads ? ");
in = fopen(flist,"rt");
fscanf(in, "%d",&fnum);
for(i=0;i<fnum;i++) {
    if (!conflag) printf("Enter file head = ");
    fscanf(in, "%s",fh[i]);
    if (!conflag) printf("Scan start number = ");
    fscanf(in, "%d",&scs[i]);
    if (!conflag) printf("Scan end number = ");
    fscanf(in, "%d",&sce[i]);
}

if((fp=fopen(mn,"rb"))==NULL) {
    printf("Could not open file MROPC \n");
    exit(1);
}

fread(mro,sizeof(double),150,fp);
fclose(fp);
if((gp=fopen(mn,"rb"))==NULL) {

```

```

printf("Could not open file MZPC \n");
exit(1);
}

fread(mz,sizeof(double),150,gp);
fclose(gp);
for(i=0;mz[i]<40.e3;i++)
{
    mza[i]=mz[i];
    mroa[i]=mro[i];
}
for(i=0;i<512;i++)
    mza[i]=c*2.e-6/2.*((double)i+0.5);
for(i=0;i<512;i++)
    bufs[i]=0.;
for(i=0;i<fnum;i++) {
    for(k=scs[i];k<=sce[i];k++) {
        strcpy(fi,"");
        strcat(fi,fh[i]);
        itoa(k,ff,10);
        switch (strlen(ff)) {
            case 1: strcpy(fj,".00"); break;
            case 2: strcpy(fj,".0"); break;
            case 3: strcpy(fj,"."); break;
        }
        strcat(fj,ff);
        dn= strcat(fi,fj);
        if((ep=fopen(dn,"rb"))==NULL) {
            printf("Could not open %s \n",dn);
        }
    }
}
else

```

```

        printf("reading %s\n",dn);
        fread(buff,sizeof(long int),512+64,ep);
        fclose(ep);
        for(j=0;j<512;j++)
            buf[j]=bufs[j]+buff[j+64];
    }
}

for(i=0;mza[i]<39.8e3;i++)
    mroa[i]=mroa[i]/mza[i]/mza[i];
}

void changetextstyle(int font, int direction, int charsize)
{
    graphresult();
    settxtstyle(font, direction, charsize);
    if( graphresult() != grOk ){
        closegraph();
        printf(" Graphics System Error\n" );
        exit( 1 );
    }
}

void drawborder(float xint,float yint)
{
    int i;

    cleardevice();
    setcolor(WHITE);
    setlinestyle(SOLID_LINE,0,NORM_WIDTH);
    rectangle(X0,Y0,X1,Y1);
    setlinestyle(DOTTED_LINE,0,NORM_WIDTH);
    for(i=1;i<yint;i++)
        line(X0,Y0+i*YW/yint,X1,Y0+i*YW/yint);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for(i=1;i<xint;i++)
    line(X0+i*XW/xint,Y0,X0+i*XW/xint,Y1);
}

void graph()
{
char *dn,copy[5],ch[10],fdata[10];
FILE *in;
int i,j,k;
int js, h;
int conflag,order;
double xs,ys,xys,x2s, a,b;
char buffer[10];
ch[0] = 'n';
while (ch[0]=='n') {
    calcnoise();
    gotoxy(1,24);
    printf("%s %d->%d", fh[0],scs[0], sce[0]);
    gotoxy(1,25);
    printf("calcnoise OK ? y or n ");
    scanf("%s",ch);
}

ch[0] = 'n';
while (ch[0]=='n') {
    calhight();
    gotoxy(1,24);
    printf("%s %d->%d", fh[0],scs[0], sce[0]);
    gotoxy(1,25);
    printf("calhight OK ? y or n ");
    scanf("%s",ch);
}

```

```

gotoxy(1,26);
printf("ENTER SCALE \n(int type) =");
scanf("%d",&sc);
cleardevice();
setcolor(WHITE);
setlinestyle(SOLID_LINE,0,NORM_WIDTH);
rectangle(X0,Y0,X1,Y1);
setlinestyle(DOTTED_LINE,0,NORM_WIDTH);
for(i=1;i<4;i++)
    line(X0+i*XW/4,Y0,X0+i*XW/4,Y1);
if(sc<=10)
    js = 1;
if(sc > 10 && sc<=100 )
    js = 10;
if(sc > 100)
    js = 100;
changentextstyle( DEFAULT_FONT, HORIZ_DIR, 1 );
settextjustify( RIGHT_TEXT, CENTER_TEXT );
h = textheight( "H" );
for(j=js;j<sc;j+=js) {
    yi=(int)(Y1-YW/(double)sc*(double)j);
    line(X0,yi,X1,yi);
    itoa(j, buffer, 10);
    outtextxy(X0-h, Y1-YW/(double)sc*j, buffer);
}
settextjustify( CENTER_TEXT, TOP_TEXT );
for( i=0 ; i<=40 ; i+=10 ){
    iroa( i, buffer, 10 );
    outtextxy( X0+XW/40.0*i, Y1 + (h/2), buffer );
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

yi=(int)(Y1-YW/(double)sc);
setlinestyle(SOLID_LINE,0,NORM_WIDTH);
line(X0,yi,X1,yi);
for(j=1;mza[j]<38.e3;j++) {
    xi=(int)(X0+XW/4*mza[j-1]*1.e-4);
    xe=(int)(X0+XW/4*mza[j]*1.e-4);
    yi=(int)(Y1-(YW/(double)sc)*r[j-1]);
    ye=(int)(Y1-(YW/(double)sc)*r[j]);
    line(xi,yi,xe,ye);
}
gotoxy(1,24);
printf("%s %d->%d", fh[0],scs[0], sce[0]);
gotoxy(1,25);
printf("save summed data? y or n ");
scanf("%s",cpy);
if((*cpy)=='y') {
    printf("save data name = ");
    scanf("%s",fdata);
    if((wp=fopen(fdata,"wb"))==NULL)
        printf("Could not open file\n");
    else {
        fwrite(bufs,sizeof(long int),512,wp);
        printf("saving to %s \n",fdata);
        fclose(wp);
    }
}
return;
}

long int mul10(int j)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

int i;
long int n = 1;
if (j==0) return n;
for (i=0; i<j; i++)
    n = n * 10;
return n;
}

void calcnoise()
{
int i,j,n,order,h;
int ns1, ns2;
double disoff;
double xs, ys, x2s, xys, a, b;
struct viewporttype vp;
char buffer[40];
drawborder(5.12,6.0);
changetextstyle( DEFAULT_FONT, HORIZ_DIR, 1 );
settextjustify( RIGHT_TEXT, CENTER_TEXT );
h = textheight( "H" );
for( i=0 ; i<5 ; i++){
    itoa(mul10(i), buffer, 10 );
    outtextxy(X0-h, Y1-YW/6.0*i, buffer );
}
settextjustify( CENTER_TEXT, TOP_TEXT );
for( i=0 ; i<512 ; i+=100 ){
    itoa( i, buffer, 10 );
    outtextxy( X0+XW/512.0*i, Y1 + (h/2), buffer );
}
setlinestyle(SOLID_LINE,0,NORM_WIDTH);
setcolor(BLUE);

```

```

for(i=0;i<512;i++) {
    xi=(int)(X0+XW/512.0*(i-1));
    xe=(int)(X0+XW/512.0*i);
    if((zi=bufs[i-1])<=0.)
        zi=-3;
    else
        zi=log10(bufs[i-1]);
    if((ze=bufs[i])<=0.)
        ze=-3;
    else
        ze=log10(bufs[i]);
    yi=(int)(Y1-50.0*zi);
    ye=(int)(Y1-50.0*ze);
    line(xi,yi,xe,ye);
}
gotoxy(1,1);
for(i=0; i<10; i++) {
    noise[i]=0.;
    for(j=1+i*50;j<(i*50+51);j++)
        noise[i]+=(double)bufs[j];
    noise[i]=noise[i]/50.;
    printf("[%3d-%3d]=%8.2f\n",1+i*50,50+i*50,noise[i]);
}
gotoxy(1,21);
printf("noise region ns1 ns2 ? \n");
scanf("%d %d",&ns1,&ns2);
switch (order) {
case 0:
default:
    ns=0.;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for(i=ns1;i<ns2;i++)
    ns+=(double)bufs[i];
ns=ns/(double)(ns2-ns1);
printf("ns= %f",ns);
for(i=0;mza[i]<98.e3;i++) {
    bufa[i]=(double)bufs[i]-ns;
    if(mza[i]>40.e3)
        bufa[i]=bufa[i]+ns; }
break;
case 1:
xs=0;ys=0;x2s=0;xys=0;
for(i=ns1;i<ns2;i++) {
    xs+=(double)i;
    x2s+=(double)i*(double)i;
    xys+=(double)bufs[i]*(double)i;
    ys+=(double)bufs[i];
}
b = (ns2-ns1)*x2s - xs*xs;
a = ((ns2-ns1)*xys-xs*ys)/b;
b = (x2s*ys-xs*xys)/b;
printf("a=%lf, b=%lf\n", a, b);
for(i=0;mza[i]<98.e3;i++) {
    bufa[i]=(double)bufs[i]-(a*i+b);
    if(mza[i]>40.e3)
        bufa[i]=bufa[i]+a*i+b; }
break;
}
}

```

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน นายสมเกียรติ ฤกษ์วีระบุญ
 วันเดือนปีเกิด วันที่ 11 กันยายน พ.ศ.2512
 ที่อยู่นักศึกษาที่ติดต่อได้ 19/10 ถนน เอกชัย-บางบอน เขต บางขุนเทียน
 กรุงเทพฯ 10160

วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต
 สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
 สถานที่สำเร็จการศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 ปีการศึกษา 2536

ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ :

(1) เรื่อง "การใช้ Nd:YAG Laser ในการหาระดับความสูง และความหนาของ Tropopause โดยเทคนิคของออฟติคอลลีโมทเซนซิง", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 18, จัดโดย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ณ โรงแรมแอมบาสเดอร์ซิตี จอมเทียน พัทยา, หน้า 229-233, พฤศจิกายน 2538

(2) เรื่อง "การวัดฝุ่นละอองด้วย LIDAR", วิศวกรรมลาดกระบัง, หน้า 56-61, กรกฎาคม 2539