บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ในปี พ.ศ.2550 คณะผู้วิจัยได้ทำวิจัย เรื่องการศึกษาโพร์ไฟล์แนวดิ่งของละอองลอยในประเทศไทยด้วยเครื่องไลดาร์การกระเจิงแบบมี ก่อให้เกิดความเข้าใจและเห็นความสำคัญของการศึกษาวิจัยด้านวิทยาศาสตร์บรรยากาศ (Atmospheric Science) มากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะงานด้านการวิเคราะห์ข้อมูลดิบที่วัดได้จากการเครื่องไลดาร์การกระเจิงแบบมีซึ่งถูกเก็บรวบรวมไว้เป็นจำนวนมากทั้งที่ ณ บริเวณอำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย และที่อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา โดยความร่วมมือกับภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประสบการณ์ที่ได้รับจากงานวิจัย ทำให้คณะผู้วิจัยเกิดความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการทำงานและวิธีการเก็บข้อมูลดิบจากเครื่องไลดาร์การกระเจิงแบบมีอย่างถ่องแท้ สามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์คำนวณค่าตัวแปรพื้นฐานได้ถูกต้อง ดังบทความวิจัยเรื่อง “สองวิธีสำหรับการหาค่าสัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับเชิงปริมาตรของละอองลอยชั้นโทรโพสเฟียร์โดยใช้ไลดาร์การกระเจิงแบบมี จังหวัดสุโขทัย” ตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ปีที่ 32 ฉบับที่ 1 มกราคม-มีนาคม 2552 โดยผลงานดังกล่าวได้สร้างเสริมความเชื่อมั่นในการนำข้อมูลที่ได้ไปศึกษา คำนวณ และวิเคราะห์ค่าตัวแปรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องสำหรับบริเวณประเทศไทยมากขึ้น เนื่องจากตัวแปรที่เกี่ยวข้องบางตัวเฉพาะบริเวณประเทศไทยไม่มีผู้ทำการศึกษาหรือบันทึกข้อมูลไว้ก่อนหน้านี้ จึงนับว่าเป็นโอกาสและความท้าทายที่คณะผู้วิจัยจะได้ศึกษาและวิจัยประเด็นปัญหาข้างต้น เพื่อนำเสนอผลเป็นข้อมูลบรรยากาศเฉพาะบริเวณประเทศไทยที่จะสามารถนำไปใช้อ้างอิงและเปรียบเทียบกับบริเวณประเทศอื่นๆ ต่อไป อีกทั้งในปัจจุบันงานด้านวิทยาศาสตร์บรรยากาศมีความจำเป็นต้องอาศัยการเชื่อมโยงข้อมูลและองค์ความรู้จากทุกภาคส่วนในระดับโลก (Global Scale) เข้าด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นในบริเวณประเทศเพื่อนบ้านใกล้เคียงหรือประเทศอื่นในต่างทวีป เนื่องจากการเรียนรู้และศึกษาวิทยาศาสตร์โลก (Earth Science) เป็นสิ่งจำเป็นและสำคัญอย่างยิ่งเพราะสภาพบรรยากาศของโลกเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งจากฝีมือของมนุษย์ และธรรมชาติ ซึ่งล้วนส่งผลกระทบอย่างกว้างขวาง ทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศ (Air Pollution) รวมถึงภาวะโลกร้อนเนื่องมาจากคลื่น

ความร้อน (Heat Wave) สภาวะเรือนกระจก (Greenhouse Effect) และเหตุการณ์พิบัติภัยทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นทั่วไปดังนั้นการศึกษาวิจัยสภาพบรรยากาศแต่ละบริเวณของประเทศต่างๆ นับว่ามีความตื่นตัวมากขึ้น โดยได้รับความสนใจในการศึกษาวิจัยทั้งในระดับชาติและนานาชาติ ซึ่งผลการวิจัยในครั้งนี้จะสามารถเป็นข้อมูลประกอบในการศึกษาสภาวะแวดล้อมที่อยู่รอบตัวเราและ/หรือผลกระทบที่อาจได้รับจากการเกิดการเปลี่ยนแปลงของชั้นบรรยากาศในประเทศเพื่อนบ้านใกล้เคียงได้ ประสบการณ์จากการวิจัยที่ผ่านมาพบว่าค่าอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอยโดยทั่วไปในบรรยากาศของประเทศไทยยังไม่มีผลงานตีพิมพ์เผยแพร่ที่สามารถใช้อ้างอิงในงานที่เกี่ยวข้องได้ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการศึกษาวิจัยเพื่อหาค่าอัตราส่วนไลดาร์รวมไปถึงผลกระทบที่มีต่อบรรยากาศบริเวณประเทศไทยด้วย

เครื่องไลดาร์การกระเจิงแบบมี (Mie Scattering LIDAR)[1] เป็นอุปกรณ์หนึ่งที่ได้รับการติดตั้งและใช้งาน ณ สถานีวิจัยในชั้นบรรยากาศอำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา โดยได้รับการสนับสนุนจาก National Institute for Environmental Studies : NIES ประเทศญี่ปุ่น ที่อนุเคราะห์เครื่องมือให้แก่ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545 เป็นต้นมา เครื่องไลดาร์ทำงานโดยอาศัยหลักการเทคนิคออปติคัลรีโมทเซนซิง (Optical Remote Sensing) ที่ใช้การส่งสัญญาณจากแหล่งกำเนิด Nd:YAG Laser ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร โดยยิงสัญญาณลักษณะเป็นพัลส์แสงเลเซอร์ไปยังชั้นบรรยากาศในแนวตั้งฉาก สัญญาณนี้จะเกิดอันตรกิริยากับละอองลอยและอนุภาคที่มีอยู่ในบรรยากาศแล้วเกิดการกระเจิง (Scattering) ของแสง ซึ่งสามารถบันทึกสัญญาณที่เกิดจากการกระเจิงเป็นข้อมูลดิบซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์ต่อได้ ข้อมูลดิบของละอองลอย (Aerosol) ที่วัดได้นี้อยู่ในบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ (Troposphere) ซึ่งเป็นชั้นบรรยากาศที่อยู่สูงจากพื้นโลกขึ้นไปเป็นระยะ 0-10 กิโลเมตรโดยประมาณ บรรยากาศชั้นนี้จะอยู่ใกล้มนุษย์มากที่สุด ซึ่งในโครงงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยมุ่งหวังที่จะศึกษาวิจัยเพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับ

[1] N. Sugimoto (2001) NIE Compact Mie Scattering LIDAR (532 nm, dual polarization), User Manual, National Institute of Environmental Studies of Japan, Japan.

ผลกระทบของอัตราส่วนไลดาร์ต่อสัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับของละอองลอยและเมฆในประเทศไทย (อัตราส่วนไลดาร์ (Lidar Ratio) ของละอองลอย คือค่าคงที่ของอัตราส่วนของการสิ้นสุด (Extinction) กับค่าการกระเจิงกลับของละอองลอยที่มีต่อสัญญาณที่ตกกระทบละอองลอย) โดยการศึกษา วิจัยที่ผ่านมามีการหาสัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับของละอองลอยและเมฆโดยสมมติใช้ค่าอัตราส่วนไลดาร์ที่มีค่าคงตัวตลอดความสูงและทุกเวลาเท่ากับ 35 sr และจากการศึกษาข้อมูลค่าอัตราส่วนไลดาร์สำหรับสภาพบรรยากาศต่างๆ มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นสัมพัทธ์ ดังนั้นจึงสนใจนำข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ที่มีอยู่บางส่วนจากการทดลองเก็บข้อมูลที่อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย ณ บริเวณสถานีตรวจวัดบรรยากาศมาใช้ศึกษาอัตราส่วนไลดาร์เพื่อเปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอย เดิมที่เคยใช้เท่ากับ 35 sr เพื่อประโยชน์ต่อการนำไปหาค่าสัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับของละอองลอยและเมฆและ ประเด็นน่าสนใจอื่นๆ เกี่ยวกับบรรยากาศต่อไปในอนาคตได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อหาค่าอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอยและเมฆที่ อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย

1.2.2 เพื่อศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนไลดาร์ต่อสัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับของละอองลอยในประเทศไทยด้วยเครื่องไลดาร์การกระเจิงแบบมี

1.2.3 เพื่อพัฒนาและสร้างความก้าวหน้าเกี่ยวกับข้อมูลละอองลอยและเมฆในชั้นบรรยากาศของประเทศไทยที่สามารถนำไปใช้และอ้างอิงเปรียบเทียบเพื่องานวิจัยทางด้านนี้ต่อไป

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

วิเคราะห์และคำนวณค่าอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอยและเมฆจากข้อมูลของความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้ ณ อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย เพื่อศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนไลดาร์ต่อสัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับของละอองลอยในประเทศไทยด้วยหลักการและทฤษฎีทางธรณีฟิสิกส์ พร้อมกับการพัฒนาและสร้างความก้าวหน้าเกี่ยวกับข้อมูลละอองลอยและเมฆในชั้นบรรยากาศของประเทศไทย ที่สามารถนำไปใช้และอ้างอิงเปรียบเทียบเพื่องานวิจัยทางด้านนี้ต่อไปได้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ค่าอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอยและเมฆในชั้นบรรยากาศของประเทศไทยที่สามารถนำไปใช้อ้างอิงและเปรียบเทียบเพื่องานด้านวิทยาศาสตร์โลกและบรรยากาศต่อไป

1.4.2 ได้พัฒนาและสร้างความก้าวหน้าในการสร้างฐานข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับบรรยากาศของประเทศไทยและในการใช้ประโยชน์จากข้อมูลการวัดด้วยเครื่องไลดาร์การกระเจิงแบบมี ที่มีอยู่แล้วในประเทศไทย

1.4.3 ได้เทคนิควิธีและข้อมูลการศึกษาชั้นบรรยากาศเหนือประเทศไทยที่สามารถเป็นข้อมูลอ้างอิงเกี่ยวกับละอองลอยที่สามารถนำไปสนับสนุนงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวกับวิกฤตภาวะโลกร้อนได้

1.4.4 ได้นำความรู้และหลักการทางฟิสิกส์ไปใช้ประโยชน์ในการอธิบายผล ก่อให้เกิดความเข้าใจปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดขึ้นได้อย่างถ่องแท้ และมีประโยชน์ต่อการเรียนการสอนฟิสิกส์ที่สามารถนำไปประยุกต์ไปใช้ได้จริง เกิดการเรียนรู้ในสภาพจริง และเสริมสร้างทักษะในด้านการคิดวิเคราะห์ สังเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ที่ดีขึ้น

1.5 ระเบียบวิธีวิจัย

1.5.1 ศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 ศึกษาแนวทางและดำเนินการหาค่าอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอยและเมฆตามหลักทฤษฎี และ การวิเคราะห์จากข้อมูลการวัดด้วยเครื่องไลดาร์การกระเจิงแบบมี

1.5.3 คำนวณสัมประสิทธิ์กระเจิงกลับของละอองลอย (Aerosol Backscattering Coefficient) ด้วยด้วยวิธีผกผันของเฟอร์นัลด์ (Fernald's Inversion Method) ตามความสูงต่างๆจากพื้นโลก โดยปรับเปลี่ยนค่าอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอยและเมฆที่ใช้ในการคำนวณ เพื่อศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนไลดาร์ต่อสัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับของละอองลอย โดยใช้ข้อมูลดิบที่วัดได้โดยเครื่องไลดาร์การกระเจิงแบบมี ณ อ.ศรีสำโรง จ.สุโขทัย

1.5.4 วิเคราะห์ผลที่ได้เพื่อแสดงความเชื่อมั่นในการแปลข้อมูลและประสิทธิภาพของผลที่ได้ โดยนำหลักการฟิสิกส์ไปอธิบายผล ก่อให้เกิดความเข้าใจปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้อย่างถ่องแท้

1.5.5 นำเสนอผลงานเพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ต่อสาธารณะ และจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์

บทที่ 2
ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการเบื้องต้นและกรอบแนวความคิด

ในการคำนวณข้อมูลเบื้องต้นที่วัดได้จากเครื่องไลดาร์การกระเจิงแบบมี จำเป็นต้องใช้วิธีการแก้แบบที่ไกลสุดของเฟอร์นัลด์และเคลทท์ (Fernald - Klett's Far-End Method)[2,3] โดยใช้สมมติฐานของความสูงวิกฤติ (ชั้นบรรยากาศที่ปราศจากละอองลอย) เท่ากับ 15 กิโลเมตร[4] และสัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับเชิงปริมาตรของโมเลกุลที่ระดับความสูงใดๆ เท่ากับสัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับเชิงปริมาตรของโมเลกุลที่ความสูงวิกฤต $\beta_m(z) = \beta_m(z_c)$ เป็นกรอบงานเริ่มต้นในการคำนวณค่าตัวแปรพื้นฐานที่เกี่ยวข้องอาทิเช่น ค่าสัญญาณแก้ไขเชิงพิสัย (Range Corrected Signal) อัตราส่วนดีโพลาไรเซชัน สัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับเชิงปริมาตรของละอองลอย เป็นต้น โดยในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับของละอองลอยนั้นมีค่าอัตราส่วนไลดาร์เกี่ยวข้องอยู่ด้วย ซึ่งงานทั่วไปมักใช้ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนไลดาร์จากการประมาณขึ้นตามสภาพสิ่งแวดล้อมที่ทำการทดลองเท่านั้น แต่ค่าอัตราส่วนไลดาร์นี้ขึ้นกับความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศ ดังนั้นเมื่อทราบความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศ ก็จะสามารถหาอัตราส่วนไลดาร์ได้ ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลเฉพาะบรรยากาศบริเวณประเทศไทย พร้อมศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนไลดาร์ต่อสัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับได้อีกด้วย

สำหรับรายละเอียดเกี่ยวกับชั้นบรรยากาศ เมฆ ละอองลอย และเครื่องไลดาร์การกระเจิงแบบมีสามารถค้นคว้าเพิ่มเติมได้จากรายงานการวิจัยเรื่องการศึกษาโพร์ไฟล์แนวดิ่งของละอองลอยใน

---

[2] F. G. Fernald (1984) Analysis of Atmospheric Lidar Observations: Some Comments, *Applied Optics*, **23**, pp. 652-653.

[3] J. D. Klett (1985) Lidar Inversion with Variable Backscatter/Extinction Ratios, *Applied Optics*, **24**, pp. 1638-1643.

[4] S. Ruangrungrote, A. Intasorn and A. Chabangbon (2007) Observation of Tropospheric Aerosol Using Mie Scattering LIDAR at Srisamrong, Sukhothai Province, *Naresuan University Science Journal*, **4**(1), pp. 25-30.

ประเทศไทยด้วยเครื่องไลดาร์การกระเจิงแบบมี โดย ศิริลักษณ์ เรืองรุ่งโรจน์ และอรุณีย์ อินทศร[5] ดังนั้นในรายงานการวิจัยเล่มนี้จึงขอเริ่มศึกษาในประเด็นที่เครื่องไลดาร์การกระเจิงแบบมีและการทำความเข้าใจกับปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งในเชิงความหมายทางวิทยาศาสตร์และขั้นตอนการคำนวณ

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 เครื่องไลดาร์การกระเจิงแบบมี (Mie Scattering Lidar)

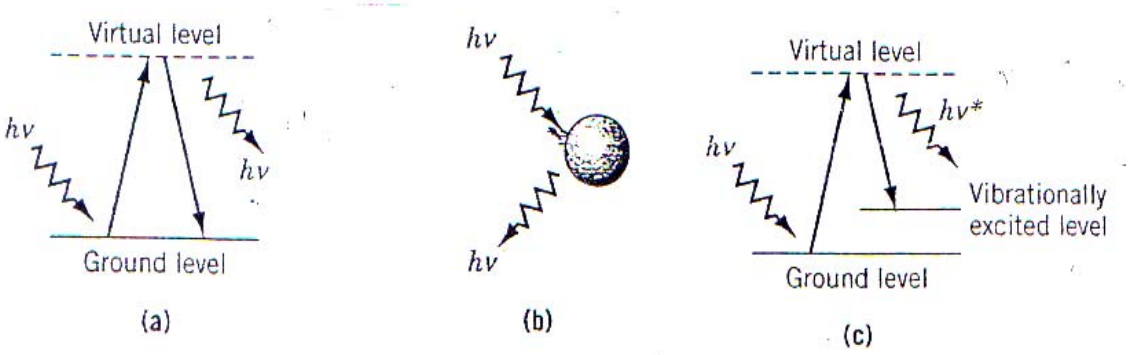
LIDAR ย่อมาจากคำว่า *LI*ght *D*etection *A*nd *R*anging เริ่มมีการนำมาใช้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1930 โดยเป็นเครื่องตรวจวัดแสงในบรรยากาศที่ยึดหลักการกระเจิงแบบยืดหยุ่น(Elastic Scattering) ที่เกิดก่อนการประดิษฐ์เลเซอร์ได้ แต่จากคุณภาพของเลเซอร์ที่มีกำลังและลำที่ขนานจึงมีการนำมาใช้แทนแหล่งกำเนิดแสงปกติที่เคยใช้มาก่อน และก็มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องตามการพัฒนาของแสงเลเซอร์ หลักการทำงานมีความคล้ายคลึงกับ “เรดาร์” (RADAR) บางครั้งจึงเรียกว่า “เลเซอร์เรดาร์” ซึ่งต่างจากเรดาร์ทั่วไปที่ใช้ความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในแถบคลื่นวิทยุ ไลดาร์ใช้หลักการการควบคุมเวลาระหว่างการผ่านออกไปของเลเซอร์พัลส์และการมาถึงของสัญญาณการกระเจิงที่กลับมา ที่สัมพันธ์โดยตรง(อาศัยความเร็วแสง) กับพิสัย (Range) ที่เกิดการกระเจิง ขนาดความหนาแน่นกำลังของเลเซอร์ที่ผลิตได้สูงขึ้นทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการวัดการกระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่น (Inelastic Scattering) จากโมเลกุลเฉพาะที่ต้องการศึกษาในระยะไกลได้ และจากเลเซอร์เทคโนโลยีที่ก้าวหน้าทำให้ไลดาร์เทคโนโลยีแบบต่างๆ เกิดขึ้นตามไปด้วย[6] ดังเช่น ปัจจุบันนี้มีไลดาร์ที่อาศัยหลักการการกระเจิงแบบต่างๆ เช่น การกระเจิงเรย์ลี (Rayleigh Scattering) การกระเจิงแบบมี (Mie Scattering) การกระเจิงรามาน (Raman Scattering) การกระเจิงแบบสั่นพ้อง (Resonance Scattering) อาศัยการวาวแสง (Fluorescence) การดูดกลืน (Absorption) และความแตกต่างของการดูดกลืนและการกระเจิงแสง

[5] S. Ruangrungrote and A. Intasorn (2007) Mie Scattering Lidar for the Study of Aerosols Vertical Profiles in Thailand, *Research Report*, Srinakharinwirot University, Bangkok, Thailand.

[6] L. de Schoulepnikoff, V. Mitev, B. Calpini and H. Van den Bergh (1998) Tropospheric air pollution monitoring, lidar, **Encyclopedia of Environmental Analysis and Remediation**, John Wiley & Sons Inc, ISBN 0-471-11708-8, p. 4873.

ของสิ่งที่ต้องการศึกษา โดยแต่ละกระบวนการสังเกตพิสัยของภาคตัดขวางที่แตกต่างกัน สำหรับการกระเจิงแบบมีสามารถสังเกตสิ่งที่มีภาคตัดขวางที่กว้างมากทำให้ได้สัญญาณการกระเจิงที่อาจจะคลุมส่วนของการกระเจิงเรย์ลีและรามานที่สังเกตสิ่งที่มีภาคตัดขวางเล็กกว่าอย่างสมบูรณ์ ซึ่งทำให้ปริมาณเพียงเล็กน้อยของฝุ่นหรือละอองลอยสามารถตรวจวัดได้ ภาพประกอบ 2.1 แสดงอันตรกิริยาของการกระเจิงของเลเซอร์จากสิ่งที่มันตกกระทบทั้ง 3 แบบ ดังนี้

- กระเจิงแบบมี เป็นการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของเลเซอร์จากอนุภาคเล็กๆหรือละอองลอย (ที่มีขนาดเทียบได้กับความยาวคลื่นของรังสีนั้น) ที่มีความถี่ไม่เปลี่ยนแปลงหลังการกระเจิง
- การกระเจิงเรย์ลี เป็นการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของเลเซอร์จากอะตอมหรือโมเลกุลที่มีความถี่ไม่เปลี่ยนแปลงหลังการกระเจิงเช่นกัน
- การกระเจิงรามาน เป็นการกระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่นของเลเซอร์จากโมเลกุลที่มีความถี่เปลี่ยนแปลงหลังการกระเจิงขึ้นอยู่กับลักษณะของโมเลกุล ความแตกต่างของพลังงานระหว่าง โฟตอนตกกระทบ และโฟตอนที่คายออกมาขึ้นกับโมเลกุลที่เลเซอร์ตกกระทบและสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของหนึ่งควอนตัมของการสั่น (One Vibrational Quantum)



ภาพประกอบ 2.1 อันตรกิริยาการกระเจิงของเลเซอร์กับสิ่งที่มันตกกระทบทั้ง 3 แบบ
(a) แบบเรย์ลี (b) แบบมี และ (c) แบบรามาน

ที่มา : L. de Schoulepnikoff, V. Mitev, B. Calpini and H. Van den Bergh (1998) Tropospheric air pollution monitoring, lidar, **Encyclopedia of Environmental Analysis and Remediation**, John Wiley & Sons Inc, ISBN 0-471-11708-8, p. 4874.

ในบรรยากาศมีโมเลกุลของแก๊สที่มีขนาดเล็กมากจึงทำให้แสงกระเจิงได้น้อยซึ่งเป็นการกระเจิงแบบเรย์ลีที่เป็นสัดส่วนผกผันกับกำลังสี่ของความยาวคลื่นที่ตกกระทบมัน[7] แต่อนุภาคละอองลอยในบรรยากาศมีการกระจายมากและมีขนาดกว้างกว่าซึ่งอยู่ในพิสัยประมาณ 0.01 μm ถึงหลายไมครอน ที่อยู่ในพิสัยของความยาวคลื่นของไลดาร์ ดังนั้นอนุภาคละอองลอยจึงทำให้แสงกระเจิงหรือเลี้ยวเบนได้มากโดยเฉพาะความยาวคลื่นที่ใช้ในไลดาร์ชนิดการกระเจิงแบบมี แต่การกระเจิงของละอองลอยมีความซับซ้อนมากซึ่งขึ้นกับการแจกแจงขนาดและการหักเหแสงของอนุภาคละอองลอย โดยสมบัติของละอองลอยมีความเฉพาะตัวและความสำคัญต่อสถานที่หนึ่งไปยังอีกสถานที่หนึ่งและ ณ เวลาขณะใดขณะหนึ่งไปยังเวลาอื่นๆ (Spatial and Temporal Character) ซึ่งเป็นไปได้ยากยิ่งในการคาดเดา (Prediction) การกระเจิงของละอองลอยให้แม่นยำด้วยการกำหนดสัญญาณไลดาร์ในทางตรงกันข้ามการกระเจิงด้วยโมเลกุลอากาศสามารถคาดเดาได้แม่นยำดีกว่าด้วยการใช้ข้อมูลมาตรฐานของบรรยากาศ

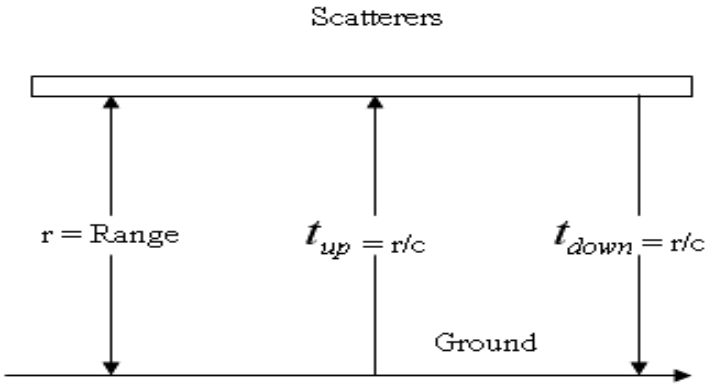
สำหรับทฤษฎีและเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับระบบไลดาร์ชนิดการกระเจิงแบบมีที่ใช้ในการศึกษาละอองลอยและเมฆในชั้นโทรโพสเฟียร์เท่านั้น มีลักษณะทั่วไปได้แก่การใช้แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์แบบพัลส์แบบ Q-switched Ruby Neodymium Doped Glass (Nd: YAG) หรือ Dye Laser ให้พัลส์ที่มีช่วงเวลา 20-40 ns ขึ้นกับแบบและขนาดของเลเซอร์พัลส์ที่มีพลังงานอยู่ในพิสัยระหว่าง 2-3 mJ ถึงหลายจูล ความถี่ของการให้พัลส์ซ้ำออกไปมีพิสัยระหว่าง 0.1 Hz ถึงหลาย กิโลเฮิรตซ์ (kHz) โดยมีกำลังเฉลี่ยที่ผลิตได้น้อยกว่า 10 W

เครื่องมือไลดาร์ ประกอบด้วยตัวปล่อยเลเซอร์ (Laser Transmitter) และตัวรับ (Receiver) ลำเลเซอร์ถูกปล่อยออกไปจากตัวปล่อยเลเซอร์ไปเกิดอันตรกิริยากับองค์ประกอบต่างๆ ในบรรยากาศและแสงที่กระเจิงกลับมาถูกรวบรวมด้วยกล้องโทรทรรศน์ (Telescope) ที่เป็นตัวรับ โดยมีการจัดวางเครื่องมือที่ทำให้เกิดสนามของการสังเกต (Field of View) ที่แตกต่างกัน ไลดาร์สำหรับการตรวจวัด

[7] P.S. Argall and R.J. Sica (2003) **LIDAR/Atmospheric Sounding Introduction**, The Elsevier Science Ltd., p. 1169.

ละอองลอยมีการบันทึกการกระเจิงกลับของแสงจากบรรยากาศเนื่องจากโมเลกุลและอนุภาค โดยสัญญาณที่กลับมาถึงหัววัดทำให้สามารถหาอัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับของละอองลอยต่อโมเลกุลของแก๊สที่ความยาวคลื่นค่าหนึ่ง และการวัดค่าดีโพลาไรเซชัน (Depolarization) ทำให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับการแจกแจงขนาดของละอองลอย และองค์ประกอบของละอองลอย

สมการไลดาร์เป็นสมการที่ใช้หาจำนวนโฟตอนที่วัดได้ด้วยระบบไลดาร์ซึ่งพิจารณาทั้งพารามิเตอร์ ของเครื่องมือและปริมาณเชิงธรณีฟิสิกส์ สมการไลดาร์ทั่วไปประกอบด้วยการกระเจิงทุกภาพประกอบแบบที่สามารถ ใช้คำนวณความแรงของสัญญาณสำหรับระบบไลดาร์ใดๆ โดยจำนวนโฟตอนที่วัดได้ก็คือจำนวนพัลส์ที่ออกมาจากหัววัดต่อเลเซอร์พัลส์นั่นเอง ในกรณีนี้จะกล่าวถึงเพียงระบบไลดาร์แบบแกนเดี่ยว (Coaxial) ที่ลำเลเซอร์ถูกส่งออกไปอยู่ในแกนเดียวกับสนามของการสังเกต โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นแบบพัลส์ ทำให้สามารถหาค่าพิสัยที่เกิดการกระเจิงขึ้นจากเวลาที่ใช้ในการเดินทางไปและกลับของแสงที่กระเจิง[8] ดังภาพประกอบ 2.2



ภาพประกอบ 2.2 แผนผังแสดงกระบวนการหาพิสัยที่ขึ้นกับเวลาของสัญญาณที่กลับลงมา

ที่มา : P.S. Argall and R.J. Sica (2003) **LIDAR/Atmospheric Sounding Introduction**, The Elsevier Science Ltd., p. 1169.

[8] A.R. Biral (2003). Analysis of The 2002 Malargue LIDAR Data through Fernald's Method, *Research Report*, UNICAMP. Brazil.

ถ้าให้ P_0 เป็นสัญญาณเลเซอร์ที่ปล่อยออกไป และ P(z) เป็นสัญญาณกระเจิงกลับที่วัดได้ จะได้

$$P(z) = P_0 k \frac{ct}{2} \frac{A}{z^2} \beta(z) T^2(z) \qquad (2\text{-}1)$$

ในที่นี้ k คือ ประสิทธิภาพของเครื่องมือที่เป็นฟังก์ชันคงตัว ct หมายถึงระยะทางในการเดินทางของเลเซอร์พัลส์ในบรรยากาศ (แฟกเตอร์ 2 แสดงการเดินทางของพัลส์ที่ไปและกลับ) A/z^2 คือมุมตัน (Solid Angle) ของการรวบรวมสัญญาณภายในพื้นที่ A ของกล้องโทรทรรศน์ ดังนั้นในการยิงเลเซอร์พัลส์ออกไป ระยะทาง z ในบรรยากาศที่ทำการวัดสัมพันธ์โดยตรงกับเวลาที่พัลส์ออกไปและเดินทางกลับยังหัววัดนับว่าเวลาทั้งหมดของการเดินทางเป็นเวลา 2 เท่าของการเดินทางได้ระยะทาง z ดังนั้นแต่ละ 10 ns หลังจากปล่อยเลเซอร์พัลส์ออกไประยะทางที่พัลส์เดินทางขึ้นไปบนท้องฟ้าคือ 1.5 m เทอม $\beta(z)$ คือสัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับเชิงปริมาตร (Volume Backscattering Coefficient) ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณโฟตอนที่กระเจิงกลับเมื่อลำแสงผ่านความหนาของบรรยากาศ มีหน่วยเป็น $m^{-1}sr^{-1}$ เมื่อจำนวนโฟตอนที่กระเจิงกลับขึ้นกับมุมของเครื่องมือที่รวบรวมโฟตอน และเทอม T(z) หมายถึงความสามารถในการผ่านไป (Transmissibility) หรือแฟกเตอร์ของการผ่านไปได้ ในการที่โฟตอนเดินทางผ่านบรรยากาศจากพื้นดินไปได้ระยะทาง z ในสมการ (2-1) เทอมนี้ยกกำลังสองเนื่องจากโฟตอนเดินทางออกไปและกลับมาจากระยะทาง z โดยปกติเทอมของการลดทอน (Attenuation) นี้มักแสดงอยู่ในเทอมเอกซ์โพเนนเชียลติดลบ (Negative Exponential) ตามกฎของบูเกอร์-แลมเบิร์ท (Bouguer - Lambert Law) นั่นคือ

$$T(z) = e^{-\tau(z)} = \exp\left(-\int_0^z \alpha(z')\,dz'\right) \qquad (2\text{-}2)$$

ในที่นี้ $\tau(z)$ หมายถึงความลึกเชิงแสง (Optical Depth) ของบรรยากาศตลอดความสูง z และเรียก $\alpha(z)$ ว่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้น (Linear Attenuation Coefficient) หรือสัมประสิทธิ์ของการสิ้นสุดเชิงปริมาตร (Volume Extinction Coefficient) ของบรรยากาศที่ความสูงระหว่าง 0 ถึง z มี

หน่วยเป็น m^{-1} ซึ่งสัมประสิทธิ์นี้รวมการสูญหายไปของแสงเนื่องจากทั้งการกระเจิงและการดูดกลืน โดยสมการ (2-2) นี้เป็นที่ยอมรับเมื่อลำเลเซอร์ผ่านบรรยากาศที่ค่อนข้างโปร่งแสง

สมการ (2-1) มีหลายเทอมที่เป็นค่าคงตัว ดังนั้นอาจแสดงสมการในเทอมของสัญญาณแก้เชิงพิสัย (Range Corrected Signal) หรือสัญญาณที่ภาวะปกติเชิงพิสัย (Range Normalized Signal) ดังนี้

$$X(z) = P(z) * z^2 = C\,\beta(z)\,\exp\left(-2\int_0^z \alpha(z')\,dz'\right) \qquad (2\text{-}3)$$

สัญญาณแก้เชิงพิสัย X(z) เป็นฟังก์ชันที่ขึ้นกับ 2 ตัวแปร $\beta(z)$ และ $\alpha(z)$ โดย

$$\alpha(\lambda,z) = \sigma_m^E(\lambda)\,N_m(z) + \int_0^\infty \sigma_a^E(\lambda,z')\,N_a(z,z')dz' + \sum_i \sigma_i^A(\lambda)\,N_i(z) \qquad (2\text{-}4)$$

และ

$$\beta(\lambda,z) = \sigma_m^B(\lambda)\,N_m(z) + \int_0^\infty \sigma_a^B(\lambda,z')\,N_a(z,z')dz' \qquad (2\text{-}5)$$

ในที่นี้ σ_y^x คือภาคตัดขวางการกระเจิง (Scattering Cross Section) และ N_Y คือความหนาแน่นของ จำนวนอนุภาค E B และ A แสดงกระบวนการสิ้นสุด การกระเจิงกลับและการดูดกลืนตามลำดับ สำหรับ m และ a แสดงโมเลกุลและละอองลอยตามลำดับ i แสดงการดูดกลืนด้วยตัวดูดกลืนแบบ i โดยสัมประสิทธิ์ทั้งสองของละอองลอยแสดงในรูปของการอินทิเกรตลอดขนาดของอนุภาค z'

จากทฤษฎีการกระเจิงของแสง สามารถแสดงความสัมพันธ์ของ α_m และ β_m ดังนี้

$$S_m = \frac{\alpha_m}{\beta_m} = \frac{8\pi}{3} \text{ sr} \qquad (2\text{-}6)$$

โดย S_m นี้ไม่ขึ้นกับความสูง สำหรับละอองลอยความสัมพันธ์ที่คล้ายกันนี้ยังไม่ทราบค่า แต่อย่างไรก็ตามด้วยวิธีของเฟอร์นัลด์ (Fernald's Method)[9] ได้เสนอความสัมพันธ์

$$S_a = \frac{\alpha_a(z)}{\beta_a(z)} \qquad (2\text{-}7)$$

โดยเรียก S_a นี้ว่าอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอย (Aerosol Lidar Ratio) ซึ่งขึ้นกับรูปแบบและชนิดของละอองลอย ซึ่งกำหนดให้มีค่าอยู่ในพิสัย $10 \text{ sr} < S_a < 100 \text{ sr}$ ทั้งนี้บรรยากาศที่สะอาด (Clean Air) จะมีค่า S_a อยู่ใกล้ค่าจำกัดต่ำสุด บรรยากาศที่มีมลภาวะ (Polluted Air) มีค่า S_a มากกว่า 40 sr

2.2.2 อัตราส่วนไลดาร์ (Lidar Ratio)[10]

อัตราส่วนไลดาร์คืออัตราส่วนระหว่างสัมประสิทธิ์การสิ้นสุดของละอองลอยกับสัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับของละอองลอย ซึ่งปริมาณเชิงแสงทั้งสองที่เกี่ยวข้องนี้ขึ้นกับค่าความยาวคลื่นของแสงตกกระทบ ดัชนีหักเห และการแจกแจงของขนาดของละอองลอย โดยพฤติกรรมทั้งหลายอาจไม่ชัดเจนนักเนื่องจากในบรรยากาศละอองลอยหลากหลายชนิดและรูปแบบอยู่กันอย่างเป็นองค์ประกอบผสมผสาน (Mixed Component) ซึ่งความแตกต่างกันนี้มีเลขดัชนีหักเหต่างกัน แต่ละองค์ประกอบก็มีขนาดรูปร่างต่างกันดังที่นิยามไว้ด้วยการแจกแจงค่าเฉลี่ยของรัศมีและภาคตัดขวาง

---

[9] A.R. Biral (2003). Analysis of The 2002 Malargue LIDAR Data through Fernald's Method, *Research Report*, UNICAMP. Brazil

[10] J. Ackermann (1998) The Extinction-to-Backscatter Ratio of Tropospheric Aerosol: A Numerical Study, *J. of Atmospheric and Oceanic Technology*, **15**, pp. 1043-1050.

ของมัน และองค์ประกอบของละอองลอยบางชนิดก็มีการเปลี่ยนแปลงการแจกแจงขนาดและดัชนีหักเหเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ เพราะความชื้นสัมพัทธ์แปรตามความสูงของชั้นบรรยากาศใกล้โลก (Planetary Boundary Layer: PBL) ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นในการวัดด้วยเครื่องไลดาร์ระบบแบบแกนเดี่ยวที่มีการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ตามทางเดินของการวัดค่าอัตราส่วนไลดาร์ก็ควรเปลี่ยนแปลงภายใต้ความสัมพันธ์นี้เช่นกัน

เนื่องจากอัตราส่วนไลดาร์มีความสำคัญต่อการประมาณค่าพารามิเตอร์ของละอองลอยในบรรยากาศ จึงมีการศึกษาทดลองหาค่าอัตราส่วนไลดาร์หลายแบบด้วยกันโดยใช้เครื่องมือวัดแตกต่างกันไป แต่อย่างไรก็ตามอัตราส่วนไลดาร์ก็ขึ้นกับการประมาณการที่สัมพัทธ์กับบริเวณที่ทำการวัดและเก็บข้อมูลก่อนหน้าที่หาได้ ตามสถานะที่เป็นจริงของบรรยากาศ โดยอาจเลือกชนิดของละอองลอยแบบหยาบในเบื้องต้น ได้จากลักษณะภูมิประเทศของแหล่งที่ทำการวัด ดังนี้

- บรรยากาศเหนือพื้นทวีป มีละอองลอยหลักคือ อนุภาคละลายน้ำได้ อนุภาคไม่ละลายน้ำ และเขม่า (Water Soluble, Insoluble and Soot Particles)
- บรรยากาศเหนือมหาสมุทร มีละอองลอยหลักคือ เกลือทะเล อนุภาคละลายน้ำได้
- บรรยากาศเหนือชายฝั่งทะเล มีละอองลอยหลักคือ เกลือทะเล อนุภาคละลายน้ำได้และเขม่า
- บรรยากาศเหนือทะเลทราย มีละอองลอยหลักคือ อนุภาคแร่ที่รวมอยู่กับอนุภาคละลายน้ำได้

ในความเป็นจริงแล้วการเปลี่ยนแปลงของละอองลอยสำหรับละอองลอยชนิดหนึ่ง อัตราส่วนการผสมขององค์ประกอบที่แตกต่างกันไม่สามารถทราบได้ ดังนั้นการหาอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอยในชั้นโทรโพสเฟียร์จึงเป็นการศึกษาเชิงระบบและการสืบค้นเชิงตัวเลข

ตามหลักการทางฟิสิกส์ ประสิทธิภาพการสิ้นสุด (Extinction Efficiency) $o_{Ext,\,I}\,(r, m, \lambda)$ และประสิทธิภาพการกระเจิงกลับ (Backscatter Efficiency) $o_{Back,\,i}\ (r, m_i, \lambda)$ สามารถคำนวณได้ตามทฤษฎีมี (Mie Theory) เมื่อ r คือรัศมีของอนุภาค m_i คือดัชนีหักเหขององค์ประกอบของละอองลอย

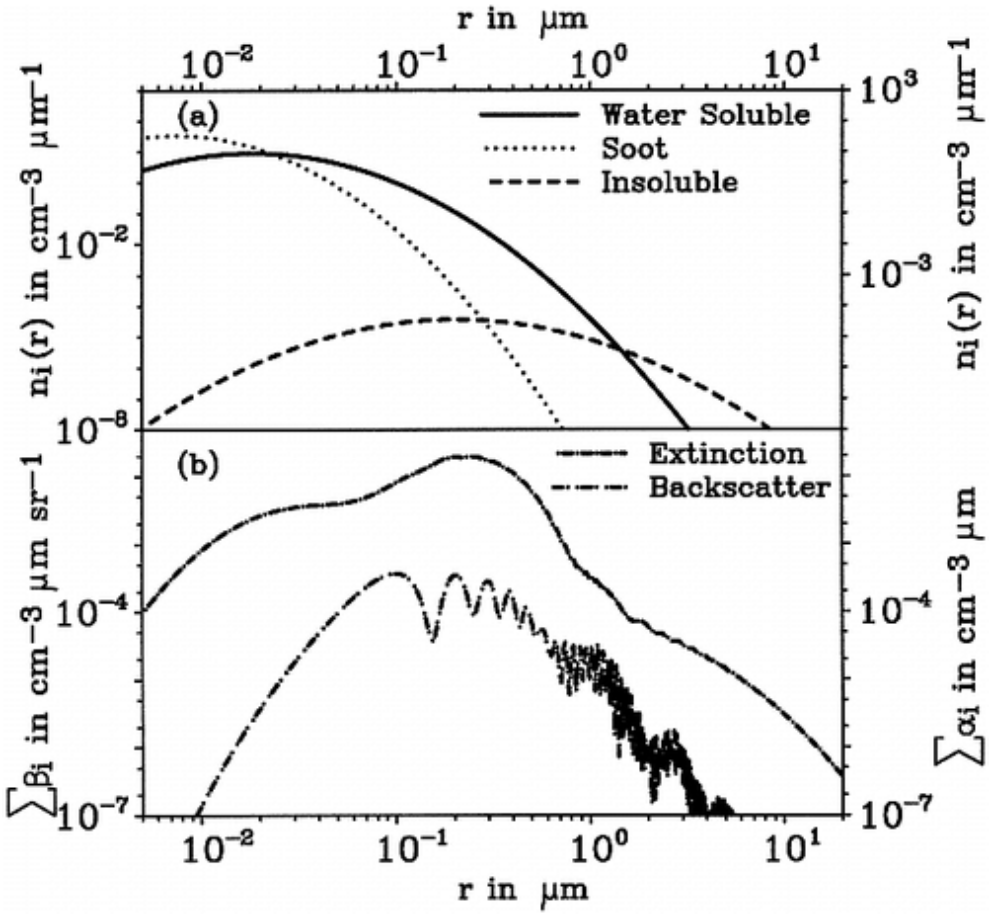
ชนิด i และ λ คือ ความยาวคลื่นของแสงตกกระทบ ดังนั้นการหาอัตราส่วนไลดาร์ด้วยการดำเนินการซ้ำๆ กันกับแต่ละองค์ประกอบของละอองลอยจะได้

$$S = \frac{\sum_{i=1}^{M} \int_{0}^{\infty} Q_{Ext,i}(r, m_i, \lambda)\pi r^2 n_i(r)dr}{\sum_{i=1}^{M} \int_{0}^{\infty} Q_{Back,i}(r, m_i, \lambda)\pi r^2 n_i(r)dr} \quad (2\text{-}8)$$

โดยที่ M คือ จำนวนขององค์ประกอบของละอองลอย $n_i(r)$ คือปริมาณการแจกแจงเชิง Lognormal ของแต่ละองค์ประกอบของละอองลอยที่มีรัศมี r นั่นคือ

$$S = \frac{\int_{0}^{\infty} \sum_{i=1}^{M} \alpha_i \, dr}{\int_{0}^{\infty} \sum_{i=1}^{M} \beta_i \, dr} \quad (2\text{-}9)$$

ตัวอย่างการคำนวณอัตราส่วนไลดาร์สำหรับละอองลอยบริเวณพื้นทวีปที่ประกอบด้วยอนุภาคละลายน้ำได้ อนุภาคไม่ละลายน้ำ และเขม่า ได้ผลดังภาพประกอบ 2.3(a) ที่ความยาวคลื่น 532 nm และความชื้นสัมพัทธ์ 90% ที่มีผลต่อองค์ประกอบอนุภาคที่ละลายน้ำได้ และจากการทราบค่าดัชนีหักเหทำให้คำนวณประสิทธิภาพการสิ้นสุดและประสิทธิภาพการกระเจิงกลับได้ โดยมีการใช้การแจกแจงขนาดของแต่ละองค์ประกอบเข้าไปเกี่ยวข้องด้วยทำให้ได้การสิ้นสุดและการกระเจิงกลับสำหรับอนุภาคที่มีรัศมีต่างกันของทั้ง 3 องค์ประกอบรวมกันหมดดังแสดงในภาพประกอบ 2.3 (b) จากค่าสูงสุดของเส้นโค้งแสดงส่วนที่เกี่ยวข้องหลักของทั้งการกระเจิงกลับและการสิ้นสุดที่ความยาวคลื่น 532 nm มาจากอนุภาคที่มีรัศมีระหว่าง 0.1 - 0.6 μm โดยอัตราส่วนไลดาร์ก็คืออัตราส่วนของอินทิกรัลของเส้นโค้งการสิ้นสุดกับอินทิกรัลของเส้นโค้งการกระเจิงกลับ

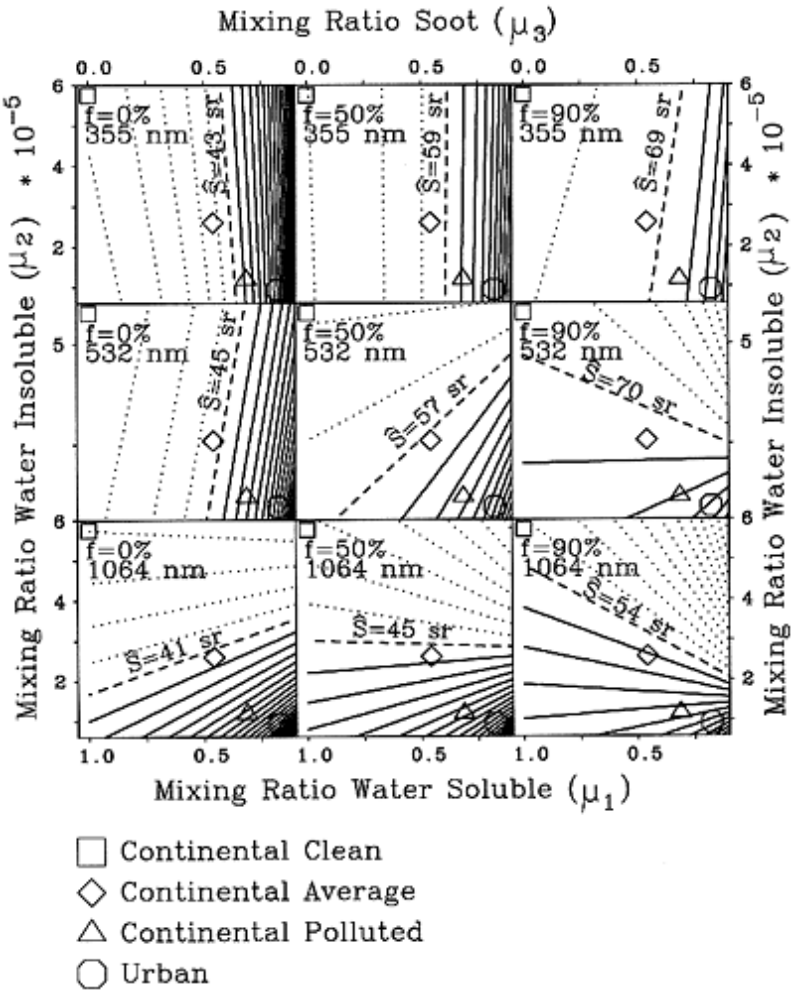


ภาพประกอบ 2.3 การหาอัตราส่วนไลดาร์สำหรับองค์ประกอบของละอองลอยทั้งสามชนิด (a) การแจกแจงของขนาด (b) การกระเจิงกลับและการสิ้นสุดที่เป็นผลรวมขององค์ประกอบที่แตกต่างกัน

ที่มา: J. Ackermann (1998) The Extinction-to-Backscatter Ratio of Tropospheric Aerosol: A Numerical Study, *J. of Atmospheric and Oceanic Technology*, **15**, p. 1045.

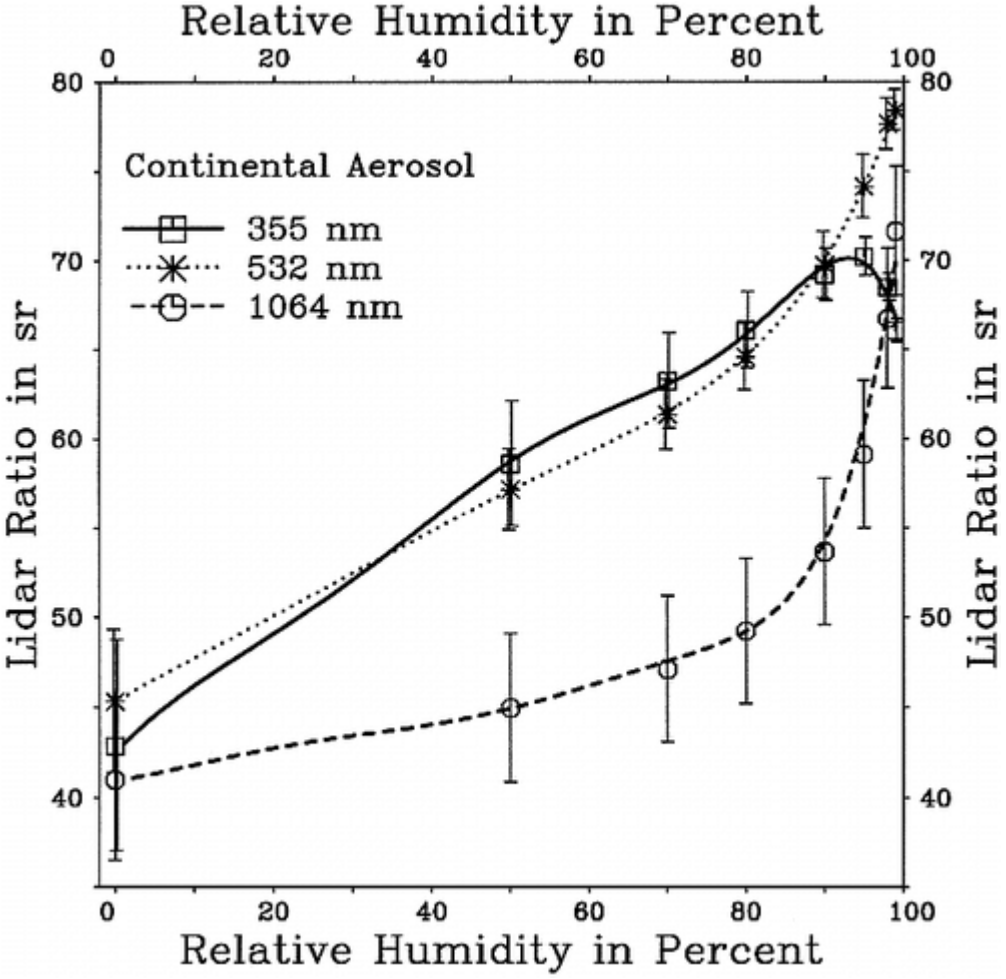
การวัดละอองลอยบริเวณพื้นทวีปนับว่าธรรมดาที่สุดและเกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้จึงขอนำมากล่าวเฉพาะการวัดละอองลอยบริเวณพื้นทวีปเท่านั้น ละอองลอยบริเวณพื้นทวีปที่ประกอบด้วยองค์ประกอบทั้งสามชนิดมีรัศมีเฉลี่ยเพิ่มขึ้นตามความชื้นสัมพัทธ์ สำหรับสมบัติเชิงแสงและความชื้นสัมพัทธ์ที่กำหนด การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนไลดาร์เกิดตามความแตกต่างของจำนวนอัตราส่วนการผสม (Mixing Ratios) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาพิสัยที่กว้างของการรวมของจำนวนอัตราส่วนการผสมที่เป็นไปได้ด้วยเงื่อนไขขอบเขตที่ว่าผลรวมอัตราส่วนการผสมเหล่านี้มีค่าเท่ากับ 1 โดยให้อัตราส่วนการผสมสำหรับอนุภาคละลายน้ำได้ อนุภาคไม่ละลายน้ำ และเขม่าเป็น μ_1 μ_2

และ μ_3 ตามลำดับ อัตราส่วนการผสม μ_1 เริ่มระหว่าง 0.1-1 ในช่วง 0.1 แต่ μ_2 เริ่มระหว่าง 6×10^{-6} – 6×10^{-5} ในช่วง 6×10^{-6} และ μ_3 เริ่มระหว่าง 0.9-0 โดยปริมาณเขม่าสูงที่ 0.9 เป็นละอองลอยในบริเวณตัวเมือง (Urban) ภาพประกอบ 2.4 แสดงอัตราส่วนไลดาร์เฉลี่ย $\hat{S}$ และการเบนออกจากค่า $\hat{S}$ สำหรับความชื้นสัมพัทธ์ (f) 0% 50% 90% และ 99% ที่ความยาวคลื่น 355 nm 532 nm และ 1064 nm พบว่าทั้ง 3 ความยาวคลื่นการเปลี่ยนแปลงของ S มีค่ามากสุดที่ความชื้นสัมพัทธ์ 0% โดยเฉพาะปริมาณเขม่าที่สูงทำให้เกิดการเบี่ยงเบนทางบวกของค่าอัตราส่วนไลดาร์จากค่าเฉลี่ยของมันที่มากซึ่งเป็นผลเนื่องจากค่าดัชนีหักเหในส่วนอุดมคติ (Imaginary Part) ที่มีค่าสูงจึงทำให้เกิดการสิ้นสุดเนื่องจากอนุภาคเหล่านี้ สำหรับที่ 1064 nm ผลกระทบนี้อาจทดแทนได้ด้วยปริมาณอนุภาคที่ไม่ละลายน้ำที่สูง การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบที่ไม่ละลายน้ำมีบทบาทสำคัญสำหรับการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนไลดาร์ที่ 1064 nm ขณะที่มีผลกระทบน้อยที่ 355 nm สำหรับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน s ของอัตราส่วนไลดาร์คำนวณสำหรับแต่ละความยาวคลื่นและความชื้นสัมพัทธ์แสดงดังภาพประกอบ 2.5 เส้นขอบเขตการผิดพลาด (Error Bars) 2 s ที่ความชื้นสัมพัทธ์ที่แน่นอนแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนไลดาร์ตามสมมติฐานที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าที่แตกต่างกันของ μ_1 μ_2 และ μ_3



ภาพประกอบที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนไลดาร์ที่คำนวณได้จากค่าอัตราส่วนไลดาร์เฉลี่ย $\hat{S}$ ที่ความยาวคลื่น 355 nm 532 nm และ 1064 nm และความชื้นสัมพัทธ์ 0% 50% และ 90% เส้นจุด เส้นประ และเส้นทึบแสดงการเบี่ยงเบนจาก $\hat{S}$ ทางลบ ศูนย์ และทางบวกตามลำดับ และมีคอนทัวร์ (Contour) 1 sr ทั้งนี้อัตราส่วนการผสมของละอองลอยทั้ง 4 แบบแสดงด้วยสัญลักษณ์โปร่งดังปรากฏในภาพ

ที่มา: J. Ackermann (1998) The Extinction-to-Backscatter Ratio of Tropospheric Aerosol: A Numerical Study, *J. of Atmospheric and Oceanic Technology*, **15**, p. 1046.



ภาพประกอบที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของอัตราส่วนไลดาร์ที่ความยาวคลื่นต่างๆ สำหรับละอองลอยบริเวณพื้นทวีป เส้นโค้งที่ได้เป็นผลการกระจายอนุกรมกำลัง ค่า $\hat{S}$ ที่คำนวณได้ และค่าขอบเขตของการเบี่ยงเบนที่คำนวณบนสมมติฐานของการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบที่แตกต่างกัน

ที่มา: J. Ackermann (1998) The Extinction-to-Backscatter Ratio of Tropospheric Aerosol: A Numerical Study, *J. of Atmospheric and Oceanic Technology*, **15**, p. 1047.

การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบที่ละลายน้ำได้ที่เป็นองค์ประกอบเดียวที่ได้รับผลกระทบจากความชื้นสัมพัทธ์ โดยการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดของ $\hat{S}$ และ s เทียบกับความชื้นสัมพัทธ์ 0% พิจารณาเหมือนเป็นการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบที่ละลายน้ำได้ การเปลี่ยนแปลงของ $\hat{S}$ และ s เนื่องจากการเพิ่ม f มีสองสาเหตุ ได้แก่การลดของค่าดัชนีหักเหทั้งส่วนจริงและส่วนอุดมคติ และการ

เลื่อนของ $n_i(r)$ ไปสู่รัศมีที่ใหญ่ขึ้นเนื่องจากการโตขึ้นของอนุภาค ทำให้ส่วนมากการสิ้นสุดเพิ่มขึ้นด้วยผลกระทบของการเลื่อนนี้เป็นหลัก สำหรับ f ที่มีค่าต่างๆ จนถึง 95% พบว่ามีความแตกต่างน้อยระหว่าง $\hat{S}$ ที่ 355 nm และ 532 nm ที่ f มีค่าสูงขึ้นไป อัตราส่วนไลดาร์เพิ่มขึ้นที่ 532 nm และลดลงที่ 355 nm การลดลงนี้เกิดจากการเพิ่มอย่างมากของสัมประสิทธ์การกระเจิงกลับที่ 355 nm เนื่องจากการโตขึ้นของอนุภาคละลายน้ำได้ สำหรับ $f < 95\%$ การลดของการสิ้นสุดด้วยการเพิ่มความยาวคลื่นเป็นผลกระทบจากอัตราส่วนไลดาร์ที่ 1064 nm มีค่าน้อยกว่าที่ 2 ความยาวคลื่น การเปลี่ยนแปลงที่สูงของ $\hat{S}$ ด้วย f ทำให้ทราบว่าสมบัติเชิงเคมีและเชิงฟิสิกส์ของอนุภาคละลายน้ำได้เป็นหลักใหญ่เหนือผลกระทบเนื่องจากเขม่าและอนุภาคไม่ละลายน้ำ ความไม่แน่นอนที่คำนวณได้ที่ความยาวคลื่นแตกต่างกันมีค่าลดลงด้วย f ที่เพิ่มขึ้น ที่ 355 nm มีพิสัยของความไม่แน่นอนจาก $\pm$ 1% ถึง $\pm$ 14% ที่ 532 nm มีพิสัยของความไม่แน่นอนจาก $\pm$ 1% ถึง $\pm$ 9% และที่ 1064 nm มีพิสัยของความไม่แน่นอนจาก $\pm$ 5% ถึง $\pm$ 11%

การประมาณค่าอัตราส่วนไลดาร์นับว่ามีความสำคัญต่อการแก้สมการไลดาร์และการสืบค้นละอองลอยในบรรยากาศ Ackermann ได้แสดงการคำนวณอัตราส่วนไลดาร์ที่ความยาวคลื่นของ Nd:YAG สำหรับละอองลอยบริเวณพื้นทวีป ทะเล และทะเลทราย โดยพบว่าอัตราส่วนไลดาร์สำหรับละอองลอยบริเวณที่เป็นทวีปมีค่าเพิ่มขึ้นตามความชื้นสัมพัทธ์ จาก 40 - 80 sr สำหรับบริเวณทะเลค่าอัตราส่วนไลดาร์อยู่ระหว่าง 15 - 30 sr ที่ความยาวคลื่น 355 และ 532 nm ที่ 1064 nm มีค่าระหว่าง 25 - 50 sr ละอองลอยบริเวณทะเลทรายอัตราส่วนไลดาร์ไม่ขึ้นกับความชื้นสัมพัทธ์อย่างเด่นชัดและมีค่าระหว่าง 42 - 48 sr ที่ 355 nm และระหว่าง 17 - 25 ที่ 532 nm และ 1064 nm โดยแสดงสูตรเอ็มไพริคัล (Empirical Formula) ของอัตราส่วนไลดาร์ที่ขึ้นกับความชื้นสัมพัทธ์ ดังนี้

$$\hat{S}(f) = \sum_{j=1}^{J} a_j f^{j-1} \qquad (2\text{-}10)$$

ในที่นี้ $\hat{S}(f)$ คือค่าอัตราส่วนไลดาร์เฉลี่ยที่ขึ้นกับความชื้นสัมพัทธ์ (f) ซึ่งโพร์ไฟล์แนวดิ่ง (Vertical Profile) ของ f หาได้จากข้อมูลเรดิโอซอนด์ (Radiosonde) ทำให้ค่าอัตราส่วนไลดาร์เฉลี่ยหาได้จาก

ความสัมพันธ์กับโพร์ไฟล์แนวดิ่งของ f ที่แต่ละความยาวคลื่นและแต่ละชนิดของละอองลอยในทางปฏิบัติ ดังนั้น a_j คือสัมประสิทธิ์โพลิโนเมียล และ j คือจำนวนทั้งหมดของสัมประสิทธิ์อยู่ระหว่าง 5 - 10 ขึ้นกับรูปร่างของฟังก์ชันต้นกำเนิด (Original Function) โดยสัมประสิทธิ์ที่หาได้แสดงดังตาราง 2.1 และได้แสดงการเปรียบเทียบผลการปรับกราฟเส้นโค้งโพลิโนเมียลกับค่า $\hat{S}(f)$ ที่คำนวณได้ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.5 สำหรับละอองลอยบริเวณพื้นทวีป ซึ่งพบว่าเส้นโค้งผ่านอยู่ภายในขอบเขตของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการคำนวณค่าอัตราส่วนไลดาร์ นับว่าการกระจายอนุกรมกำลังในสมการ (2-8) มีความแม่นยำเพียงพอเชิงคณิตศาสตร์

สำหรับละอองลอยบริเวณพื้นทวีป Salemink และคณะ[11] ได้รายงานการแปรตามของอัตราส่วนไลดาร์กับความชื้นสัมพัทธ์ แต่ค่าที่ได้ระหว่าง 20-70 sr ไม่สอดคล้องกับค่าที่ Ackermann แสดงไว้นี้ แต่ข้อมูลของ Takamura และคณะ[12] ไม่แตกต่างจากผลการศึกษาของ Ackermann ถึงแม้ว่าได้ค่าต่ำกว่าประมาณ 20 sr โดยความไม่แม่นยำของค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากเครื่องไฮโกรมิเตอร์ (Hygrometer) ของเรดิโอซอนด์ อาจมาจากสาเหตุหลักเกี่ยวกับความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่มีผลต่อเครื่องมือ ทำให้ค่า f สูงเกินจริง

[11] H. Salemink, P. Schotanus and J. B. Bergwerff (1984) Quantitative Lidar at 532 nm for Vertical Extinction Profiles in the Lidar Solution, *Appl. Phys*., **34B**, pp. 187-189.

[12] T. Takamura, Y. Sasano and T. Hayasaka (1994) Tropospheric Aerosol Optical Properties Derived from Lidar, Sun Photometer and Optical Particle Counter Measurements, *Appl. Opt*., **33**, pp.7132-7140.

ตาราง 2.1 สัมประสิทธิ์สำหรับการกระจายอนุกรมกำลังของอัตราส่วนไลดาร์
ของละอองลอยในบริเวณลักษณะภูมิประเทศแบบพื้นทวีป

Order Coefficient	ความยาวคลื่น		
	355 nm	532 nm	1064 nm
a_1	4.252 x 10	4.531 x 10	4.093 x 10
a_2	4.400×10^{-1}	2.628×10^{-1}	7.091×10^{-2}
a_3	-7.877×10^{-3}	-3.085×10^{-3}	2.006×10^{-3}
a_4	1.395×10^{-5}	1.334×10^{-4}	1.767×10^{-5}
a_5	7.881×10^{-6}	-2.356×10^{-6}	-0.6958×10^{-6}
a_6	-1.472×10^{-7}	1.412×10^{-8}	2.242×10^{-7}
a_7	8.581×10^{-12}	0	-2.708×10^{-9}
a_8	1.350×10^{-13}	0	1.149×10^{-11}
a_9	-2.899×10^{-14}	0	0
a_{10}	-3.411×10^{-16}	0	0

2.2.3 การแก้สมการไลดาร์ด้วยวิธีแบบผกผันของเฟอร์นัลด์ (Fernald's Inversion Method)[13]

การแก้สมการไลดาร์ (2-3) อาจสมมติว่าแฟกเตอร์ C ของระบบเป็นค่าคงที่ทราบค่าก็จะเหลือเพียง 2 แฟกเตอร์ที่ไม่ทราบค่า (Unknown Factor) ต่อการวัดค่าหนึ่ง ซึ่งไม่สามารถแก้ปัญหาตามหลักคณิตศาสตร์ได้ถ้าไม่มีการตั้งสมมติฐานเข้ามาช่วย ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาการแก้สมการนี้มาตลอด สำหรับวิธีการแบบผกผันของเฟอร์นัลด์ ได้แก่การสมมติความสัมพันธ์ $\beta(z) = \alpha(z)^k$ เมื่อพิจารณาว่าไม่มีกระบวนการการดูดกลืนแสง ดังนั้น

[13] J. A. Reagan, M. P. McCormick and J. D. Spinhirne (1989) LIDAR Sensing of Aerosols and Clouds in The Troposphere and Stratosphere. *Proceeding of the IEEE*, **77**(3), pp. 433-445.

$$X(z) = C\,\alpha(z)^{k}\,\exp\left(-2\int_{0}^{z}\alpha(z')\,dz'\right) \qquad (2\text{-}11)$$

หรือเขียนในรูป

$$\ln X(z) = \ln C + k\ln\alpha(z) - \left\{2\int_{0}^{z}\alpha(z')\,dz'\right\} \qquad (2\text{-}11a)$$

$$\frac{d\ln X(z)}{dz} = \frac{k}{\alpha(z)}\frac{d\alpha(z)}{dz} - 2\alpha(z) \qquad (2\text{-}12)$$

เพื่อให้การแก้สมการนี้สมบูรณ์ ในเบื้องต้นควรทราบค่า β และ α ที่ตำแหน่งหนึ่งในบรรยากาศ (อาจเรียกว่าตำแหน่ง “ความสูงวิกฤต” (Critical Height: Z_C) ที่เป็นค่าเชิงเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition Value) ซึ่งวิธีการแก้สมการแบบผกผันนี้ เคลทท์ (Klett)[14] ได้เสนอความสูงวิกฤตให้เป็นตำแหน่งที่สูงมากๆในบรรยากาศ ที่เคลทท์เรียกว่า การแก้แบบที่ไกลสุดของเคลทท์ (Klett’s Far-End Solution) โดยคิดว่าละอองลอยส่วนมากอยู่หนาแน่นเหนือพื้นดินในกิโลเมตรแรกๆ ดังนั้นที่ความสูงวิกฤต Z_C ค่า β และ α ของละอองลอยมีค่าประมาณศูนย์ ดังนั้นในการแก้แบบที่ไกลสุดของเคลทท์สำหรับ $Z < Z_C$ จะได้

$$\alpha_a(z) + \alpha_m(z) = \frac{X^{1/k}(z)}{\dfrac{X^{1/k}(z_c)}{\alpha(z_c)} + \dfrac{2}{k}\displaystyle\int_{z}^{z_c} x^{1/k}(z')dz'} \qquad (2\text{-}13)$$

โดยที่ m และ a แสดงโมเลกุลและละอองลอยตามลำดับ สิ่งสำคัญในการแก้สมการแบบนี้คือค่าคงตัว k ที่สัมพันธ์กับค่า β และ α เคลทท์ให้ k เป็นฟังก์ชันของความยาวคลื่นแสงเลเซอร์และสมบัติของ

[14] J. D. Klett (1985) Lidar Inversion with Variable Backscatter/Extinction Ratios, *Applied Optics*, **24**, pp. 1638-1643.

ละอองลอย โดยทั่วไปมีค่าระหว่าง 0.67-1 สำหรับช่วงความยาวคลื่นแสงมักสมมติให้ k=1 ซึ่งไม่ค่อยถูกต้องนัก

จากงานของไอโอกิเบะ (Iokibe และคณะ[15]) ได้ใช้วิธีการแก้สมการหาค่าสัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับของละอองลอยแบบผกผันของเฟอร์นัลด์ ตามสมการ

$$\beta_a(z) + \beta_m(z) = \frac{X(z)C(z)}{\frac{X(z_c)}{\beta_a(z_c) + \beta_m(z_c)} + 2S_a \int_z^{z_C} X(z')C(z')dz'} \qquad (2\text{-}14)$$

เมื่อ $C(z) = \exp[\,2(S_a - S_m)\int_z^{z_C} \beta_m(z')dz']$

โดยใช้สมมติฐานของ 3 ตัวแปรในสมการ (2-14) ได้แก่ $\beta_a(z_c) = 0$ $(m^{-1}sr^{-1})$ อัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอย S_a เป็นค่าคงตัว = 30 sr และ $\beta_m(z)$ หาจากการเทียบสัญญาณที่วัดได้กับโพร์ไฟล์ของโมเลกุล (Molecular Profile) ตามโมเดลโมเลกุลของ NASA ปี 1976 การสมมติว่า S มีค่าคงตัวสอดคล้องกับสมบัติเชิงกายภาพขององค์ประกอบของอนุภาค (เช่น ค่าดัชนีหักเห) ภาพประกอบที่ร่างการแจกแจงขนาดของอนุภาคมีค่าคงตัวตลอดพิสัย ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของค่า S จึงจำกัดอยู่ที่การเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นของจำนวนอนุภาคละอองลอย

2.2.4 อัตราส่วนดีโพลาไรเซชัน (Depolarization Ratio)[16]

ในการวัดค่าดีโพลาไรเซชันของบรรยากาศด้วยไลดาร์สามารถนำมาใช้แสดงความแตกต่างระหว่างเฟสที่เป็นของเหลวและของแข็งของน้ำในบรรยากาศได้ และสามารถใช้ในการแสดงความ

---

[15] K. Iokibe, Y. Toyota, O. Wada and R. Koga (2005) A scheme to Classify Clouds with the Depolarization Ratio and Backscattering Coefficient Measured by Lidar, *Memoirs of the Faculty of Engineering, Okayama University*, **39**, pp. 93-101.

[16] URL:http://lidar.ssec.wisc.edu/papers/pp_thes/node20.htm., Accessed August 24, 2006.

แตกต่างของอนุภาคชนิดต่างๆ ได้ด้วย ปริมาณที่แสดงความเป็นโพลาไรเซชัน คือ อัตราส่วนดีโพลาไรเซชัน

$$\delta = \frac{P_{\perp}}{P_{//}} \qquad (2\text{-}15)$$

ในที่นี้ $P_{\perp}$ และ $P_{//}$ คือ ความเข้มของสัญญาณกระเจิงกลับที่วัดได้ที่เป็นสัญญาณโพลาไรซ์ตั้งฉากและขนานตามลำดับเทียบกับแกนโพลาไรซ์ของสัญญาณโพลาไรซ์ที่ปล่อยออกไป สัญญาณที่มีโพลาไรซ์เชิงเส้นของลำเลเซอร์ที่กระเจิงกลับจากอนุภาคทรงกลมจะเป็นโพลาไรซ์เชิงเส้นทั้งหมด ทำให้ $\delta = 0$ อนุภาคที่สามารถสมมติให้มีภาพประกอบที่ร่างทรงกลมได้ในกรณีที่เป็น เมฆหมอก หมอก (Fog) หยดเมฆ (Cloud Droplets) และหยดน้ำฝนเล็กๆ ค่าอัตราส่วนดีโพลาไรเซชันของโมเลกุลบริสุทธิ์มีค่าไม่เป็นศูนย์เพราะแอนไอโซทรอปี (Anisotropy) ของอากาศ ถ้าอนุภาคมีลักษณะไม่เป็นทรงกลม (เช่น ผลึกน้ำแข็ง เกล็ดหิมะ หรืออนุภาคฝุ่น) หรือสัญญาณการกระเจิงกลับประกอบด้วยการกระเจิงทวีคูณสัญญาณที่กลับมาก็จะประกอบด้วยองค์ประกอบของการโพลาไรซ์ที่มีสองแบบ ($0 < \delta < 1$) การเปลี่ยนแปลงจากน้ำแข็งไปเป็นน้ำจะแสดงการลดลงของอัตราส่วนดีโพลาไรเซชันเชิงเส้น ผลของการกระเจิงทวีคูณทำให้อัตราส่วนดีโพลาไรเซชันมีค่าเพิ่มขึ้น ถ้าค่านี้มากกว่าอัตราส่วนดีโพลาไรเซชันของผลึกน้ำแข็งก็ไม่สามารถสังเกตความแตกต่างของน้ำแข็งและน้ำได้

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปีค.ศ. 2002 Motoaki และคณะ[17] ได้สังเกตละอองลอยในชั้นโทรโพสเฟียร์ที่ชาโปทัว (Shapotou) จังหวัด Ningxia ในประเทศจีนด้วยการใช้เครื่องมีไลดาร์ และเนื่องจากไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับการแจกแจงขนาดของอนุภาค รูปร่างและค่าดัชนีหักเหเชิงซ้อนของอนุภาค ในการหาค่าอัตราส่วนไลดาร์ จึงได้สมมติค่าคงตัว อัตราส่วนไลดาร์ให้เท่ากับ 35 sr ซึ่งเป็นค่าอ้างอิงที่มักใช้สำหรับอนุภาคฝุ่น และใช้อัตราส่วนไลดาร์ของโมเลกุลแก๊สในบรรยากาศมีค่าคงตัวเท่ากับ $8\pi/3$ ที่ทุกความสูง

[17] Y. Motoaki, Z. Jixia, M. Kohei, I. Toshikazu, A. Tetsuo and L. Lichou (2002) Observation of Troposheric Aerosol by Using a Mie Lidar: Observation at Arid Region in China, *J. of the Communications Research Laboratory*, **49**(2), pp. 233-242.

ในปีค.ศ. 2004 Tatarov และคณะ[18] ได้ศึกษาเชิงระบบของอัตราส่วนไลดาร์สำหรับละอองลอยและเมฆในชั้นโทรโพสเฟียร์ (Tropospheric Aerosols and Clouds) ที่เมืองทสึกุบะ (Tsukuba) ประเทศญี่ปุ่นด้วยเครื่องไลดาร์แบบการแยกสเปกตรัมระดับสูง (High-Spectral Resolution LIDAR : HSRL) ผลการวิจัยพบว่าได้ค่าอัตราส่วนไลดาร์อยู่ในช่วง 10 – 30 sr สำหรับเมฆและ 30 – 60 sr สำหรับละอองลอย ในช่วงเดือนสิงหาคม - ธันวาคม 2003 และยังพบว่าละอองลอยลักษณะทรงกลมมีค่าอัตราส่วนไลดาร์อยู่ระหว่าง 10 – 20 sr และระหว่าง 30 – 40 sr สำหรับละอองลอยที่มีลักษณะไม่เป็นทรงกลม รวมทั้งปรากฏว่าค่าอัตราส่วนไลดาร์ยังขึ้นกับฤดูกาล โดยในฤดูหนาวจะมีค่าอัตราส่วนไลดาร์น้อยกว่า ขณะที่เมฆเกล็ดน้ำแข็งมีค่าอัตราส่วนไลดาร์มากในฤดูหนาว ซึ่งก่อนหน้านี้ในปีค.ศ. 1998 Ackermann[19] ทำการศึกษาแบบคำนวณเชิงตัวเลขจนได้สูตรคำนวณค่าอัตราส่วนไลดาร์เฉลี่ยสำหรับละอองลอยในบริเวณที่มีสภาพแตกต่างกันคือ บริเวณพื้นทวีป มหาสมุทร และทะเลทราย โดยใช้ข้อมูลค่าความชื้นสัมพัทธ์ของแต่ละบริเวณเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการคำนวณ

ปีต่อมา (ค.ศ. 2005) Mitev และคณะ[20] ได้สังเกตละอองลอยในชั้นบรรยากาศในกรณีที่มีลมหนาวพัดผ่านประเทศสวิตเซอร์แลนด์ในช่วงเดือนธันวาคม 2001 โดยใช้ไลดาร์ที่ความยาวคลื่น 532 nm ร่วมกับการใช้ผลการวัดของเรดิโอซอนด์ โดยได้คำนวณสัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับด้วยวิธีผกผันของเฟอร์นัลด์ (Fernald's Inversion Method) และสมมติค่าอัตราส่วนไลดาร์มีค่าคงตัวเท่ากับ 50 sr ตามแนวทางการศึกษาของ Ackermann

---

[18] B. Tatarov, N. Sugimoto, I. Matsui and A. Shimizu (2004) Systematic Observations of Lidar Ratio for Tropospheric Aerosols and Clouds by High-Spectral Resolution Lidar Over Tsukuba, Japan, *Proceeding of the 22nd International Laser Radar conference*, , (ILRC 2004), 12-16 July 2004, Italy.

[19] J. Ackermann (1998) The Extinction-to-Backscatter Ratio of Tropospheric Aerosol: A Numerical Study, *J. of Atmospheric and Oceanic Technology*, **15**, pp. 1043-1050.

[20] V. Mitev, R. Matthey, M. Frioud, M.K. Srivastava, S. Eckhardt, and A. Stohl (2005) Backscatter Lidar Observation of the Aerosol Stratification in the Lower Troposphere During Winter Bise: A Case Study, *Meteorologische Zeitschrift*, **14**(5), pp. 663-669.

ในปีค.ศ. 2008 Chiang และคณะ[21] ได้คำนวณหาค่าอัตราส่วนระหว่างการสิ้นสุดกับการกระเจิงกลับอาศัยการวัดด้วยไลดาร์ ณ เมืองชุงลี (Chung-li) ในช่วงปีค.ศ. 2002-2004 พบว่าค่าเฉลี่ยอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอยพื้นหลัง (Background Aerosol) เท่ากับ 47 ± 15 sr ขณะที่ละอองลอยแบบฝุ่นมีค่าเฉลี่ยอัตราส่วนไลดาร์ 44 ± 19 sr และมีความลึกเชิงแสง (Optical Depth) 0.53 ± 0.49 ที่ความยาวคลื่น 532 nm

[21] C.- W. Chiang, S.K. Das and J.- B. Nee (2008) An Iterative Calculation to Derive Extinction-to Backscatter Ratio Based on Lidar Measurements, *J. of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, **109**, pp.1187-1195.

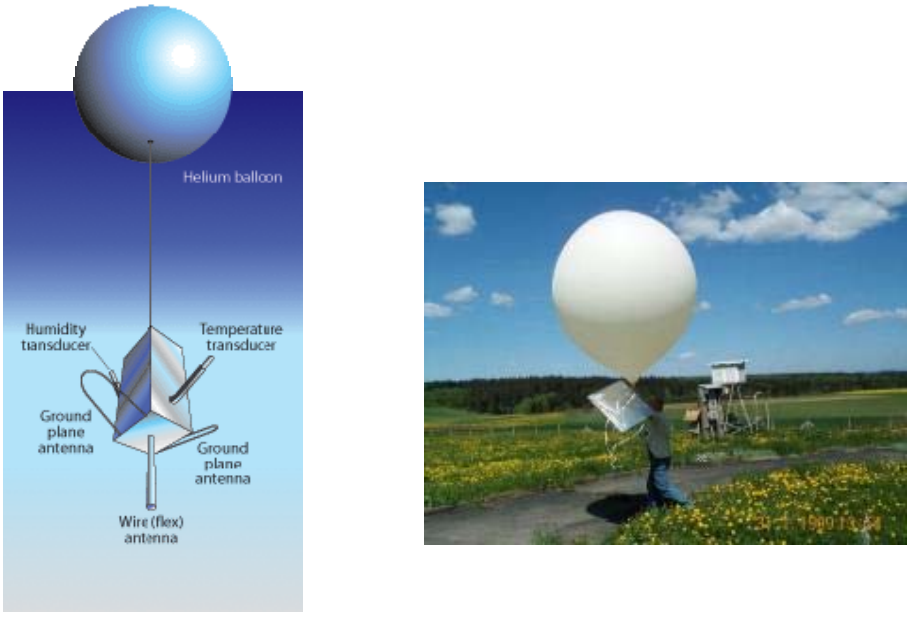
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือในการวิจัย

3.1.1 เรดิโอซอนด์ (Radiosonde)

เรดิโอซอนด์[22] เป็นชุดเครื่องมือที่ลอยขึ้นไปบนบรรยากาศที่ระดับความสูง 20 - 30 km ด้วยบอลลูน เครื่องมือนี้สามารถวัดโพร์ไฟล์แนวดิ่งของอุณหภูมิ ความชื้น และความดันบรรยากาศ แล้วส่งข้อมูลกลับมายังสถานีบนพื้นโลกได้ โดยความสูงของบอลลูนทราบได้จากการใช้หลักการเปลี่ยนแปลงของอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics) หรือการใช้ GPS (Global Positioning Systems) เรดิโอซอนด์ที่ขายกันแพร่หลายส่วนมากใช้เซ็นเซอร์การเก็บประจุ (Capacitance Sensor)ในการวัดความชื้นสัมพัทธ์โดยตรงที่ขึ้นกับการดูดกลืนน้ำในสารไดอิเล็กตริกที่เป็นเซ็นเซอร์ เครื่องมือถูกห่อหุ้มไว้เพื่อกันการรับพลังงานจากแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ และใช้แบตเตอรี่เป็นตัวจ่ายกำลังให้กับเรดิโอซอนด์



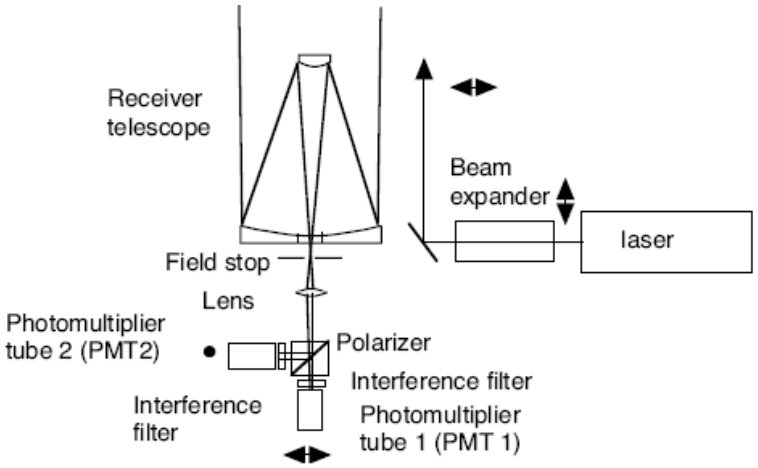
ภาพประกอบที่ 3.1 เครื่องเรดิโอซอนด์

[22] URL:http://www.aero.org/publications/crosslink/summer2000/02.html., Accessed September14, 2010.

เรดิโอซอนด์ส่งข้อมูลมาที่ตัวรับสัญญาณที่สถานีพื้นโลกเพื่อประมวลข้อมูลต่อไป โดยทั่วไปมักทำงานที่ 404 MHz หรือ 1680 MHz[23] การประมวลผลสามารถเกิดทันทีสอดคล้องกับเวลาจริงที่เก็บข้อมูล ทั้งนี้เรดิโอซอนด์มีขนาดเล็กมากประมาณกล่องเก็บรองเท้าซึ่งมีน้ำหนักเบา จึงสะดวกต่อการพกพาและใช้ประโยชน์ในการเก็บข้อมูลที่ต้องการศึกษา

3.1.2 ไลดาร์การกระเจิงแบบมี

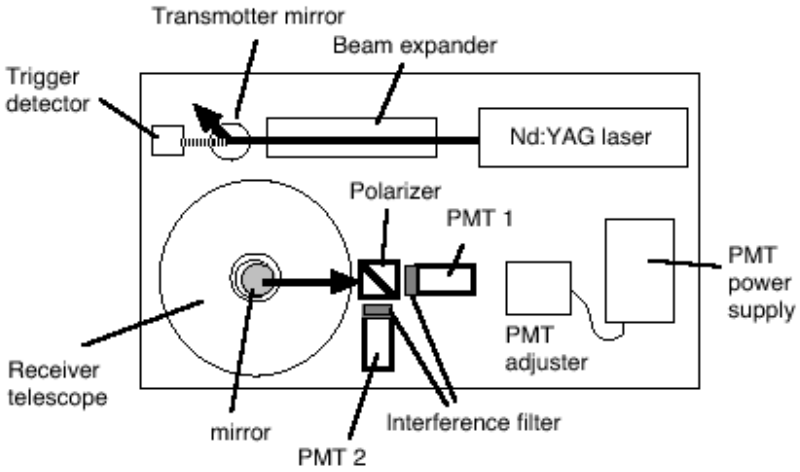
เครื่องมือที่ใช้ประกอบงานวิจัยนี้ คือเครื่องไลดาร์การกระเจิงแบบมี (Mie Scattering LIDAR) ซึ่งเป็น NIES Compact Mie Scattering Lidar ที่มีฟังก์ชันของการวัดแบบคู่โพลาไรเซชัน (Dual - Polarization) ทำให้สามารถวัดตัวทำกระเจิงที่ไม่เป็นทรงกลมได้ แผนผังเครื่องมือแสดงดังภาพประกอบ 3.2 และโดยมีโครงร่างของแต่ละส่วนดังภาพประกอบ 3.3



ภาพประกอบ 3.2 แผนผังเครื่องไลดาร์การกระเจิงแบบมี

ที่มา : **NIE Compact Mie Scattering LIDAR (532 nm, dual polarization).** User manual, 2001.

[23] URL:http://www.webmet.com/met_monitoring/912.html., Accessed September 14, 2010.



ภาพประกอบ 3.3 โครงร่างแต่ละส่วนของเครื่องไลดาร์การกระเจิงแบบมี

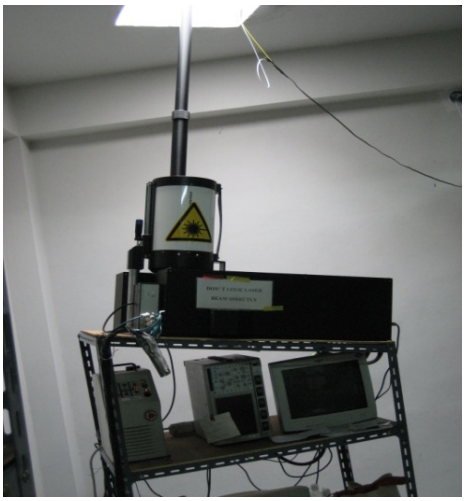
ที่มา : **NIE Compact Mie Scattering LIDAR (532 nm, dual polarization).** User manual, 2001.

โดยระบบไลดาร์ที่ใช้มีคุณลักษณะ (Specification) ดังนี้

ตารางที่ 3.1 คุณลักษณะของเครื่องไลดาร์การกระเจิงแบบมี

ลักษณะเฉพาะ	Mie Lidar
Laser	Flashlamp pumped Nd:YAG laser
Output Power	532 nm 30mJ/pulse (1064 nm 20 mJ/pulse)
Repetition Rate	10 pps (Maximum 20 pps)
Telescope	Schmidt Cassegrain
Diameter	20 cm
Field of View	1 mrad
Detector	Photomultiplier Tube (532 nm dual polarization)
Data acquisition	Digital Oscilloscope

เครื่องมือนี้ประกอบด้วยหลอด Nd: YAG laser ที่ให้พัลส์เลเซอร์ความยาวคลื่น 532 nm (มีตัวเลือกอื่นคือ 1064 nm) ทิศทางของการวัดอยู่ในแนวดิ่ง ลำเลเซอร์ผ่านออกไปหลังจากมีการทำให้เป็นลำขนานด้วยตัวขยายลำแสง (Beam Expander) แสงกระเจิงที่รับได้ด้วยกล้องโทรทรรศน์ชมิดต์แคสซีเกรน (Schmidt Cassegrain Telescope) ขนาด 20 cm สนามของการสังเกตที่รับปรับได้ด้วยการปรับช่อง (Aperture) ที่อยู่ในระนาบโฟกัสของกล้องโทรทรรศน์โดยปกติใช้ 1 mrad แสงที่ได้รับจะถูกทำให้เป็นลำขนานและพุ่งไปยังโพลาไรเซอร์ (Polarizer) แบบปริซึม เพื่อแยกองค์ของโพลาไรเซชันแนวขนานและแนวตั้งฉาก วัดองค์ประกอบโพลาไรเซชันที่แยกกันนี้ด้วยหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (Photomultiplier, PMT) 2 หลอด หน่วยวัด PMT มีตัวกรองการแทรกสอด (Interference Filters) ที่กรองรังสีพื้นหลัง (Background) เนื่องจากแสงอาทิตย์ออกไป และต่อเข้ากับระบบที่มีการควบคุมวงจรศักย์ไฟฟ้าสูงที่ป้อนให้กับ PMT สัญญาณที่ออกจาก PMT 1 และ PMT 2 จะเข้าสู่ ch 1และ ch 2 ของออสซิลโลสโคปแบบดิจิตอลตามลำดับ (PMT1:ch1เป็นโพลาไรเซชันแนวขนาน PMT2:ch2 เป็นโพลาไรเซชันแนวตั้งฉาก) ขณะที่สัญญาณที่ออกจาก (Trigger Detector) จะต่อเข้ากับ ch4 ของออสซิลโลสโคปแบบดิจิตอล บันทึกข้อมูลจากออสซิลโลสโคปและทำการเฉลี่ยพร้อมกับแสดงผลข้อมูลที่หามาได้ด้วยระบบคอมพิวเตอร์และเก็บรวบรวมไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับเครื่องไลดาร์การกระเจิงแบบมี ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้แสดงดังภาพประกอบ 3.4



ภาพประกอบ 3.4 เครื่องไลดาร์การกระเจิงแบบมีที่ใช้ในการทดลอง ณ ปัจจุบัน ตั้งอยู่ที่ อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมาซึ่งย้ายมาจากสถานีวิจัยที่อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย

วิธีการวัดด้วยเครื่องไลดาร์ จะตั้งเครื่องให้ทำการวัด 5 นาทีในทุกๆ ช่วง 15 นาที หยุดวัด 10 นาที โดยทุกๆ 5 นาทีก่อนการวัดมีการอุ่นหลอดเลเซอร์ 1 นาที และบันทึกข้อมูลเข้าในคอมพิวเตอร์ภายหลัง จากการวัด 5 นาที (4 ไฟล์/ชั่วโมง) ซึ่งแต่ละไฟล์ประกอบด้วยข้อมูลเฉลี่ยสำหรับการวัด 5 นาที บันทึกข้อมูลจากความสูง 0 - 24 km โดยโปรแกรมของการวัดมีการเฉลี่ย 4 ครั้งตามความสูงก่อนบันทึกลงในคอมพิวเตอร์ ข้อมูลที่เก็บรวบรวมมีความสูงที่แตกต่างกันทุก 6 m รวม 4000 ข้อมูลในแต่ละช่องสัญญาณ (Channel)

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การหาค่าอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอยและเมฆ

ศึกษาข้อมูลที่ทำการวัดและเก็บข้อมูลโพร์ไฟล์แนวดิ่งของความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากเครื่องเรดิโอซอนด์ ณ สถานีวิจัย อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย (17° 0′ 21″ N, 99° 49′ 35″ E) รวม 14 วัน ระหว่างเดือนเมษายน – มิถุนายน พ.ศ. 2546 เท่ากับ 112 ชุดข้อมูล (Dataset) เนื่องจากมีข้อมูลดิบโพร์ไฟล์แนวดิ่งของความชื้นสัมพัทธ์ที่อำเภอศรีสำโรงที่ค่อนข้างสมบูรณ์ เหมาะต่อการคำนวณหาค่าโพร์ไฟล์แนวดิ่งของอัตราส่วนไลดาร์เฉลี่ยที่ความยาวคลื่น 532 nm ทั้งนี้ยังมีอุปสรรคคือไม่มีข้อมูลโพร์ไฟล์แนวดิ่งของความชื้นสัมพัทธ์ที่ทำการทดลองในวันและเวลาเดียวกับการวัดข้อมูลด้วยเครื่องไลดาร์การกระเจิงแบบมี ทั้งที่อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย และอำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา (15° 13′ 0″ N, 102°30′ 0″ E) ดังนั้นการหาโพร์ไฟล์แนวดิ่งของอัตราส่วนไลดาร์จึงอาจไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้หาโพร์ไฟล์แนวดิ่งของสัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับของละอองลอยอย่างถูกต้องและสมบูรณ์ แต่จะนำมาใช้ในประเด็นของการสืบค้นและวินิจฉัยผลกระทบของอัตราส่วนไลดาร์ที่เกิดขึ้นต่อสัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับของละอองลอยแทน ด้วยเหตุผลดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงมีการหาโพร์ไฟล์แนวดิ่งของอัตราส่วนไลดาร์เฉลี่ย และหาค่าเฉลี่ยค่าอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอยและเมฆตลอดความสูงสำหรับความยาวคลื่น 532 nm ในช่วงเวลาที่ทำการวัดตามแบบของ Ackermann ด้วยสมการ (2-10) ในบทที่ 2 โดยใช้โปรแกรม MatLab และ Excel ดังนี้

$$\hat{S}(f) = \sum_{j=1}^{J} a_j f^{j-1} \quad (3\text{-}1)$$

ในที่นี้ $\hat{S}(f)$ คือค่าอัตราส่วนไลดาร์เฉลี่ยของละอองลอยที่ขึ้นกับความชื้นสัมพัทธ์ (f) a_j คือ สัมประสิทธิ์โพลิโนเมียล และ j คือจำนวนทั้งหมดของสัมประสิทธิ์ โดยใช้สัมประสิทธิ์สำหรับความยาวคลื่น 532 nm จากตาราง 2.1

ในขั้นต้นนำค่าโพร์ไฟล์แนวดิ่งของความชื้นสัมพัทธ์มาหาค่าโพร์ไฟล์แนวดิ่งของอัตราส่วนไลดาร์เฉลี่ยก่อน พล็อตกราฟของโพร์ไฟล์ทั้งสองและหาค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนไลดาร์ตลอดความสูงจากตำแหน่ง 0.5 - 4 km ของแต่ละช่วงเวลาที่ทำการวัด เนื่องจากข้อมูลโพร์ไฟล์แนวดิ่งของความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับความสูงต่างๆ ไม่ตรงกับที่ระดับความสูงที่เก็บข้อมูลด้วยเครื่องไลดาร์การกระเจิงแบบมี โดยการวัดค่าสัญญาณการกระเจิงกลับด้วยเครื่องไลดาร์การกระเจิงแบบถูกบันทึกข้อมูลจากช่วงความสูง 0 - 24 km ดังนั้นเพื่อให้ได้โพร์ไฟล์แนวดิ่งของอัตราส่วนไลดาร์เฉลี่ยสัมพันธ์กับข้อมูลจากเครื่องไลดาร์การกระเจิงแบบมี จึงเลือกใช้ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนไลดาร์ของละอองในช่วงระยะความสูงโทรโพสเฟียร์ระดับล่าง (Lower Troposphere) 0.5 - 4 km เหนือพื้นดิน ของแต่ละช่วงเวลาที่ทำการเก็บข้อมูลด้วยเรดิโอซอนด์ และวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์ของละอองลอยโดยใช้ข้อมูลจากเครื่องไลดาร์ ณ ช่วงระดับความสูงที่สอดคล้องกัน

3.2.2 การศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนไลดาร์ต่อ สัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับของละอองลอย β_a (z)

เพื่อศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนไลดาร์ต่อสัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับของละอองลอย จึงทำการคำนวณสัมประสิทธิ์กระเจิงกลับของละอองลอย (Aerosol Backscattering Coefficient) ด้วยวิธีวิธีการแก้แบบที่ไกลสุดของเคลทท์และเฟอร์นัลด์ (Klett – Fernald's Far-End Method) ตามความสูง 0.5 - 4 km เหนือพื้นดิน โดยใช้ข้อมูลดิบที่วัดได้โดยเครื่องไลดาร์การกระเจิงแบบมี ณ อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย และอำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา ในช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกับเวลาที่ทำการวัดโพร์ไฟล์แนวดิ่งของความชื้นสัมพัทธ์ที่มี และใช้ข้อมูลโพร์ไฟล์แนวดิ่งของอัตราส่วนไลดาร์ของ

ละอองลอยที่หาได้จากหัวข้อ 3.2.1 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอยที่เป็นค่าคงตัวทุกความสูง 0.5 - 4 km ในการคำนวณ และวิเคราะห์เปรียบเทียบผลจากกราฟที่ได้เพื่อศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนไลดาร์ต่อสัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับของละอองลอยต่อไป

สำหรับวิธีดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูล เริ่มจากการหาความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณแก้เชิงพิสัย (Range Corrected Signal: X (z)) กับความสูง (z) จากพื้นโลก ตามสมการ (2-3)

$$X(z) = P(z) * z^2 \qquad (3\text{-}2)$$

โดย P(z) คือสัญญาณกระเจิงกลับที่วัดได้ทุกๆ ช่วง 6 m มีการบันทึกตั้งแต่ 0-24 km เนื่องจากละอองลอยมีความหนาแน่นในบรรยากาศช่วง 2 – 3 กิโลเมตรแรกเหนือพื้นดิน ดังนั้นค่าเฉลี่ยสัญญาณไลดาร์ที่กลับมาทั้งหมดจากความสูงเหนือ 15 km จะนำมาใช้เป็นสัญญาณพื้นหลังที่กำหนดให้เป็นสัญญาณที่ถูกรบกวนเนื่องจากการแผ่รังสีในท้องฟ้า โดยนำมาหักล้างออกจากสัญญาณที่วัดได้ที่ความสูงต่างๆที่อยู่ต่ำกว่า เพื่อให้ได้สัญญาณเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกับสัญญาณที่กลับมาเนื่องจากการกระเจิงจากละอองลอยและโมเลกุลอากาศในแต่ละพิสัยของความสูง

คำนวณสัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับของละอองลอย β_a (z) ด้วยวิธีแบบผกผันเฟอร์นัลด์ และการแก้แบบที่ไกลสุดของเคลทท์ (Klett's Far-End Solution) จากสมการ (2-14) โดยที่ข้อมูลของสัญญาณที่วัดได้ทุกๆ ช่วงความสูง 6 m จึงตั้งสมมติฐานว่าสัญญาณการกระเจิงกลับเนื่องจากละอองลอยเท่ากันตลอดในพิสัยความสูง 6 m ดังนั้นกำหนดให้ตัวแปรที่เกี่ยวข้องทั้งหดมีค่าคงตัวตลอดพิสัยความสูง 6 m เช่นกัน และจากการวัดที่ได้ข้อมูลของ X(z) ทุกๆช่วงพิสัยความสูง 6 m ดังนั้นจึงเขียนสมการ (2-14) ได้เป็นสมการ (3-2) ดังนี้

$$\beta_a(z) + \beta_m(z) = \frac{X(z)C(z)}{\frac{X(z_c)}{\beta_m(z_c)} + 2S_a \sum_{z_{ii}}^{z_C} [6\, X(z_i)\, C(z_i)]} \qquad (3\text{-}2)$$

เมื่อ $C(z) = \exp[2(S_a - S_m)\beta_m(z_c - z)]$ โดยที่ m และ a หมายถึงโมเลกุลและละอองลอย ตามลำดับ ในกรณีนี้คิดความสูงวิกฤต Z_C = 15 km โดยสมมติว่าที่บริเวณนี้มีเพียงโมเลกุลอากาศ และปราศจากละอองลอยนั่นคือ $\beta_a(z_c)$ = 0 $m^{-1}sr^{-1}$ และในการประมาณค่าของ β_m ได้ใช้สมมติฐานให้มีค่าคงตัวตลอดความสูง (ตามความเป็นจริง β_m มีการเปลี่ยนแปลงตามความสูง แต่เพื่อความสะดวกจึงประมาณการให้มีค่าคงตัวตลอดความสูง) นั่นคือ $\beta_m(z) = \beta_m(z_C)$ เมื่ออาศัยสมการ (2-3) สมการ(2-6) และสมการ (2-7) ก็จะได้

$$\ln[\beta_m + \beta_a(z)] - 2S_a\beta_a z = \ln X(z) + 2S_m\beta_m z \qquad (3\text{-}3)$$

เนื่องจากมีการตั้งสมมติฐานที่ว่าที่ความสูงวิกฤต Z_C = 15 km มี $\beta_a(z_c)$ = 0 ($m^{-1}sr^{-1}$) และ $\beta_m(z) = \beta_m(z_C)$ ดังนั้นจากสมการ (3-3) จะได้

$$\ln\beta_m - 2S_m\beta_m z_c = \ln X(z_c) \qquad (3\text{-}4)$$

ดังนั้นสามารถคำนวณหาค่า β_m หน่วยเป็น $m^{-1}sr^{-1}$ $S_m = \left(\frac{8\pi}{3}\right)$ sr ของโมเลกุลอากาศ โดยใช้สมการ (3-4) ผนวกกับการใช้โปรแกรม Mathematica ในการคำนวณผล

นำค่า β_m หน่วยเป็น $m^{-1}sr^{-1}$ $S_m = \left(\frac{8\pi}{3}\right)$ sr X(Z) และค่าอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอย (S_a) ที่หาได้ในหัวข้อ 3.2.1 แทนลงในสมการ (3-2) จะได้ค่าสัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับของละอองลอย $\beta_a(z)$ ที่ระดับความสูงต่าง ๆ

พล็อตกราฟระหว่างค่าสัมประสิทธิ์กระเจิงกลับของละอองลอยกับความสูง เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของผลที่คำนวณได้เมื่อใช้ค่าอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอยที่แตกต่างกัน จากนั้นจึง

วิเคราะห์ผลของกราฟที่ได้พร้อมกับตรวจสอบความน่าเชื่อถือของค่าที่ได้เพื่อจะได้เป็นข้อมูลอ้างอิงในงานอื่นๆ ด้านวิทยาศาสตร์บรรยากาศต่อไป

3.2.3 การวิเคราะห์ลักษณะของละอองลอยและเมฆ

เนื่องจากบริเวณที่ทำการเก็บข้อมูลมีลักษณะเป็นบริเวณพื้นทวีปที่อยู่นอกเขตตัวเมือง (Rural Area) ดังนั้นข้อมูลที่ช่วยเสริมการศึกษาอัตราส่วนไลดาร์เฉลี่ยในงานวิจัยให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้นจึงได้แก่ การหาค่าอัตราส่วนดีโพลาไรเซชันที่แสดงการแจกแจงขนาด (Size Distribution) ของละอองลอย โดยใช้ความสัมพันธ์ดังสมการ (2-15) หรือสมการ (3-5) ดังนี้

$$\delta = \frac{P_{\perp}}{P_{//}} \qquad (3\text{-}5)$$

ในที่นี้ $P_{\perp}$ และ $P_{//}$ คือ ความเข้มของสัญญาณกระเจิงกลับที่วัดได้ที่เป็นสัญญาณโพลาไรซ์ตั้งฉากและขนาน ตามลำดับเทียบกับแกนโพลาไรซ์ของสัญญาณโพลาไรซ์ที่ปล่อยออกไป ซึ่งได้แก่สัญญาณจากช่องที่ 2 และช่องที่ 1 ตามลำดับ และเขียนกราฟแสดงผลในรูปแบบโพรไฟล์ความสูงของค่าอัตราส่วนดีโพลาไรเซชัน โดยแปลผลตามหัวข้อ 2.2.4

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์

4.1 ผลการทดลอง

4.1.1 ผลการคำนวณค่าอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอยในชั้นบรรยากาศของประเทศไทย

จากข้อมูลของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ที่เก็บโดยเครื่องเรดิโอซอนด์ รวม 14 วัน ระหว่างเดือนเมษายน – มิถุนายน 2546 นั่นคือรวมทั้งสิ้น 112 ชุดข้อมูล (Dataset) ณ สถานีวิจัย อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย และใช้สมการ (2-10) ผนวกกับสัมประสิทธิ์สำหรับการกระจายอนุกรมกำลังของอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอยในพื้นทวีปดังตาราง 2.1 ได้ผลการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 4.1 – 4.3 และจากผลนี้ได้นำมาหาค่าอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอยเฉลี่ยและเขียนกราฟดังภาพประกอบ 4.1

ตาราง 4.1 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ อัตราส่วนไลดาร์ และอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอย จากข้อมูลดิบวันที่ 20 - 24 เมษายน 2546 รวม 5 วัน

วันที่	เวลา (hr)	ค่าเฉลี่ย			
		อุณหภูมิ (K)	ความชื้นสัมพัทธ์	อัตราส่วนไลดาร์ (S) sr	อัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอย (S_a) sr
20 เม.ย.	00.00	288.194	56.945	58.608	50.230 ± 1.954
	03.00	288.853	52.281	57.576	49.198 ± 1.692
	06.00	289.662	53.176	57.774	49.396 ± 1.231
	09.00	291.215	41.271	55.073	46.695 ± 2.651
	12.00	290.655	46.630	56.278	47.900 ± 2.547
	15.00	290.316	51.406	57.369	48.991 ± 1.913
	18.00	289.411	57.687	58.770	50.392 ± 2.639
	21.00	289.486	56.391	58.652	50.275 ± 3.808
	ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอย (S_a) ตลอดวัน				**43.675 ± 2.048**

ตาราง 4.1 (ต่อ) ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ อัตราส่วนไลดาร์ และอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอย จากข้อมูลดิบวันที่ 20 - 24 เมษายน 2546 รวม 5 วัน

วันที่	เวลา (hr)	ค่าเฉลี่ย			
		อุณหภูมิ (K)	ความชื้นสัมพัทธ์	อัตราส่วนไลดาร์ (S) sr	อัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอย (S_a) sr
21 เม.ย.	00.00	288.787	54.160	58.030	49.653 ± 3.530
	03.00	289.277	53.302	57.801	49.423 ± 3.397
	06.00	290.026	46.193	56.131	47.753 ± 3.756
	09.00	N/A	N/A	N/A	N/A
	12.00	291.175	35.711	53.757	45.379 ± 3.435
	15.00	290.017	50.276	57.061	48.684 ± 5.118
	18.00	289.199	55.963	58.453	50.076 ± 3.865
	21.00	289.051	53.703	57.868	49.491 ± 4.148
	ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอย (S_a) ตลอดวัน				**42.557 ± 3.406**
22 เม.ย.	00.00	289.217	49.692	56.937	48.559 ± 4.387
	03.00	288.283	52.905	57.814	49.437 ± 5.063
	06.00	289.009	48.687	56.787	48.410 ± 4.615
	09.00	289.989	45.748	56.054	47.676 ± 3.069
	12.00	290.883	49.517	56.895	48.517 ± 3.051
	15.00	289.624	67.116	61.287	52.909 ± 4.491
	18.00	288.944	76.798	64.433	56.055 ± 4.089
	21.00	288.610	86.284	69.315	60.937 ± 5.859
	ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอย (S_a) ตลอดวัน				**45.833 ± 3.847**

ตาราง 4.1 (ต่อ) ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ อัตราส่วนไลดาร์ และอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอย จากข้อมูลดิบวันที่ 20 - 24 เมษายน 2546 รวม 5 วัน

วันที่	เวลา (hr)	ค่าเฉลี่ย			
		อุณหภูมิ (K)	ความชื้นสัมพัทธ์	อัตราส่วนไลดาร์ (S) sr	อัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอย (S_a) sr
23 เม.ย.	00.00	288.345	77.438	64.408	56.031 ± 3.316
	03.00	288.892	66.959	60.880	52.502 ± 1.497
	06.00	289.727	65.572	60.808	52.430 ± 2.957
	09.00	291.195	57.243	58.670	50.293 ± 1.568
	12.00	290.149	65.031	60.455	52.078 ± 1.872
	15.00	289.569	67.013	61.014	52.636 ± 2.296
	18.00	288.293	77.549	64.097	55.719 ± 2.402
	21.00	289.939	74.337	63.021	54.643 ± 2.261
	ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอย (S_a) ตลอดวัน				**47.370 ± 2.019**
24 เม.ย.	00.00	288.159	66.431	60.986	52.608 ± 3.155
	03.00	288.666	55.868	58.363	49.985 ± 2.851
	06.00	288.451	50.036	57.168	48.791 ± 4.276
	09.00	289.657	38.294	54.357	45.979 ± 3.176
	12.00	290.799	51.583	57.409	49.031 ± 1.658
	15.00	290.464	59.215	59.105	50.728 ± 1.934
	18.00	288.090	67.763	61.478	53.101 ± 3.337
	21.00	288.819	63.224	60.031	51.653 ± 1.928
	ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอย (S_a) ตลอดวัน				**44.653 ± 2.480**

ตาราง 4.2 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ อัตราส่วนไลดาร์ และอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอย จากข้อมูลดิบวันที่ 28 - 31 พฤษภาคม 2546 รวม 4 วัน

วันที่	เวลา (hr)	ค่าเฉลี่ย			
		อุณหภูมิ (K)	ความชื้นสัมพัทธ์	อัตราส่วนไลดาร์ (S) sr	อัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอย (S_a) sr
28 พ.ค.	00.00	289.979	51.120	57.306	48.929 ± 1.702
	03.00	290.111	55.023	58.190	49.813 ± 1.462
	06.00	290.632	58.114	58.861	50.483 ± 2.473
	09.00	289.820	70.616	62.088	53.710 ± 2.766
	12.00	289.236	74.710	65.730	57.353 ± 8.181
	13.00	290.730	67.751	61.874	53.497 ± 4.484
	15.00	291.364	59.783	59.262	50.884 ± 2.128
	18.00	290.292	62.933	59.964	51.586 ± 1.811
	21.00	289.9056	73.384	63.233	54.856 ± 4.012
	ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอย (S_a) ตลอดวัน				**47.111 ± 2.902**
29 พ.ค.	00.00	289.001	72.260	63.772	55.394 ± 2.721
	03.00	289.138	71.804	62.634	54.256 ± 3.388
	07.00	291.028	65.092	60.994	52.616 ± 4.029
	09.00	291.326	55.970	58.379	50.001 ± 1.438
	12.00	290.771	63.867	60.237	51.859 ± 2.365
	15.00	290.912	69.059	61.679	53.301 ± 2.766
	18.00	289.998	72.518	63.077	54.699 ± 4.238
	21.00	289.590	74.184	63.594	55.216 ± 4.085
	ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอย (S_a) ตลอดวัน				**47.483 ± 2.781**

ตาราง 4.2 (ต่อ) ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ อัตราส่วนไลดาร์ และอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอย จากข้อมูลดิบวันที่ 28 - 31 พฤษภาคม 2546 รวม 4 วัน

วันที่	เวลา (hr)	ค่าเฉลี่ย			
		อุณหภูมิ (K)	ความชื้นสัมพัทธ์	อัตราส่วนไลดาร์ (S) sr	อัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอย (S_a) sr
30 พ.ค.	00.00	289.215	75.847	63.738	55.361 ± 3.130
	03.00	288.673	75.611	63.509	55.131 ± 2.564
	04.00	289.270	77.488	64.281	55.903 ± 3.103
	06.00	289.428	75.381	63.302	54.924± 2.064
	09.00	289.843	74.747	62.999	54.622 ± 1.591
	12.00	287.794	84.475	67.432	59.055 ± 4.056
	16.00	288.848	84.978	68.586	60.209 ± 5.924
	18.00	289.285	87.629	68.786	60.409 ± 2.605
	21.00	288.245	84.644	67.794	59.416 ± 4.231
	ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอย (S_a) ตลอดวัน				**51.503 ± 2.927**
31 พ.ค.	00.00	287.929	91.514	72.362	63.985 ± 5.231
	03.00	287.611	90.880	71.177	62.799 ± 3.545
	06.00	288.431	83.068	66.409	58.031 ± 2.627
	09.00	288.688	81.302	65.500	57.123 ± 2.296
	12.00	288.831	97.062	77.057	68.679 ± 4.618
	15.00	288.573	89.003	69.617	61.239 ± 2.631
	18.00	288.835	82.579	66.237	57.860 ± 3.048
	21.00	288.039	88.215	69.419	61.042 ± 3.429
	ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอย (S_a) ตลอดวัน				**54.529 ± 3.047**

ตาราง 4.3 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ อัตราส่วนไลดาร์ และอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอย จากข้อมูลดิบวันที่ 1 - 5 มิถุนายน 2546 รวม 5 วัน

วันที่	เวลา (hr)	ค่าเฉลี่ย			
		อุณหภูมิ (K)	ความชื้นสัมพัทธ์	อัตราส่วนไลดาร์ (S) sr	อัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอย (S_a) sr
1 มิ.ย.	00.00	288.233	86.837	68.383	60.005 ± 2.882
	03.00	288.080	84.532	67.272	58.895 ± 3.178
	06.00	288.524	79.456	64.622	56.245 ± 1.635
	09.00	289.001	80.045	65.307	56.930 ± 3.593
	12.00	288.192	84.400	66.892	58.515 ± 2.056
	15.00	288.475	89.582	70.792	62.414 ± 5.418
	18.00	288.134	92.733	73.151	64.773 ± 5.152
	21.00	287.751	90.068	70.516	62.138 ± 3.321
	ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอย (S_a) ตลอดวัน				**53.324 ± 3.026**
2 มิ.ย.	00.00	287.068	91.404	71.494	63.117 ± 3.332
	03.00	287.861	88.720	70.014	61.637 ± 4.947
	06.00	288.053	88.126	69.105	60.728 ± 2.652
	09.00	288.971	86.589	68.181	59.803 ± 2.561
	12.00	288.469	94.591	74.072	65.694 ± 3.033
	15.00	288.302	89.803	70.275	61.898 ± 3.083
	18.00	288.097	91.933	72.395	64.017 ± 4.718
	21.00	288.060	93.133	73.115	64.737 ± 4.194
	ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอย (S_a) ตลอดวัน				**55.737 ± 3.169**

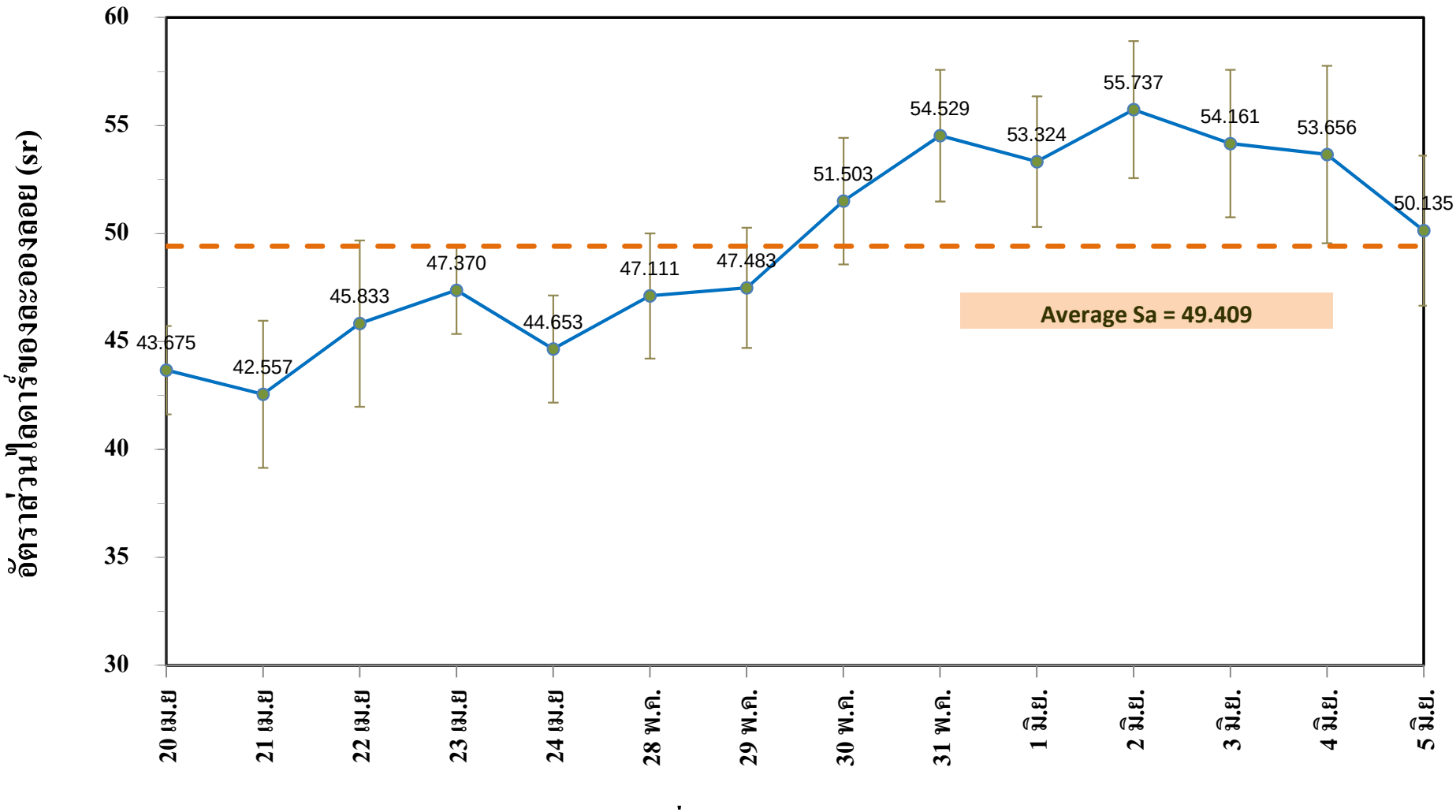
ตาราง 4.3 (ต่อ) ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ อัตราส่วนไลดาร์ และอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอย จากข้อมูลดิบวันที่ 1 - 5 มิถุนายน 2546 รวม 5 วัน

วันที่	เวลา (hr)	ค่าเฉลี่ย			
		อุณหภูมิ (K)	ความชื้นสัมพัทธ์	อัตราส่วนไลดาร์ (S) sr	อัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอย (S_a) sr
3 มิ.ย.	00.00	288.003	89.307	71.494	63.117 ± 3.332
	03.00	288.085	84.392	70.014	61.637 ± 4.947
	06.00	288.192	84.725	69.105	60.728 ± 2.652
	09.00	288.736	86.279	68.181	59.803 ± 2.561
	12.00	288.606	93.592	74.072	65.694 ± 3.033
	15.00	288.700	84.844	70.275	61.898 ± 3.083
	18.00	288.277	90.027	72.395	64.017 ± 4.718
	21.00	287.585	88.426	73.115	64.737 ± 4.194
	ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอย (S_a) ตลอดวัน				**54.161 ± 3.414**
4 มิ.ย.	00.00	287.371	86.635	70.102	61.725 ± 3.801
	03.00	287.907	86.311	67.027	58.650 ± 2.899
	07.00	289.005	86.959	67.175	58.797 ± 2.497
	09.00	288.386	86.840	68.532	60.154 ± 4.340
	12.00	288.641	81.106	73.625	65.248 ± 4.405
	15.00	287.845	90.876	67.500	59.123 ± 3.938
	18.00	287.810	90.448	70.566	62.189 ± 3.836
	21.00	288.179	78.236	69.938	61.560 ± 5.008
	ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอย (S_a) ตลอดวัน				**53.656 ± 4.110**

ตาราง 4.3 (ต่อ) ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ อัตราส่วนไลดาร์ และอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอย จากข้อมูลดิบวันที่ 1 - 5 มิถุนายน 2546 รวม 5 วัน

วันที่	เวลา (hr)	ค่าเฉลี่ย			
		อุณหภูมิ (K)	ความชื้นสัมพัทธ์	อัตราส่วนไลดาร์ (S) sr	อัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอย (S_a) sr
5 มิ.ย.	00.00	288.044	79.644	65.170	56.793 ± 3.430
	03.00	288.222	77.058	64.988	56.610 ± 5.125
	04.00	288.038	76.839	64.882	56.505 ± 4.963
	06.00	288.281	72.508	63.985	55.607 ± 6.105
	09.00	288.071	72.938	62.759	54.382 ± 2.754
	12.00	289.106	78.042	64.683	56.306 ± 3.478
	15.00	288.826	86.350	68.159	59.782 ± 3.148
	18.00	288.355	76.165	63.610	55.232 ± 2.268
	ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอย (S_a) ตลอดวัน				**50.135 ± 3.475**

ทั้งนี้จากการคำนวณค่าเฉลี่ยอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอยรวม 14 วัน สามารถนำมาเขียนกราฟแสดงผลได้ดังภาพประกอบ 4.1



ภาพประกอบ 4.1 ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอยรายวันรวม 14 วัน ระหว่างเดือนเมษายน – มิถุนายน พ.ศ.2546

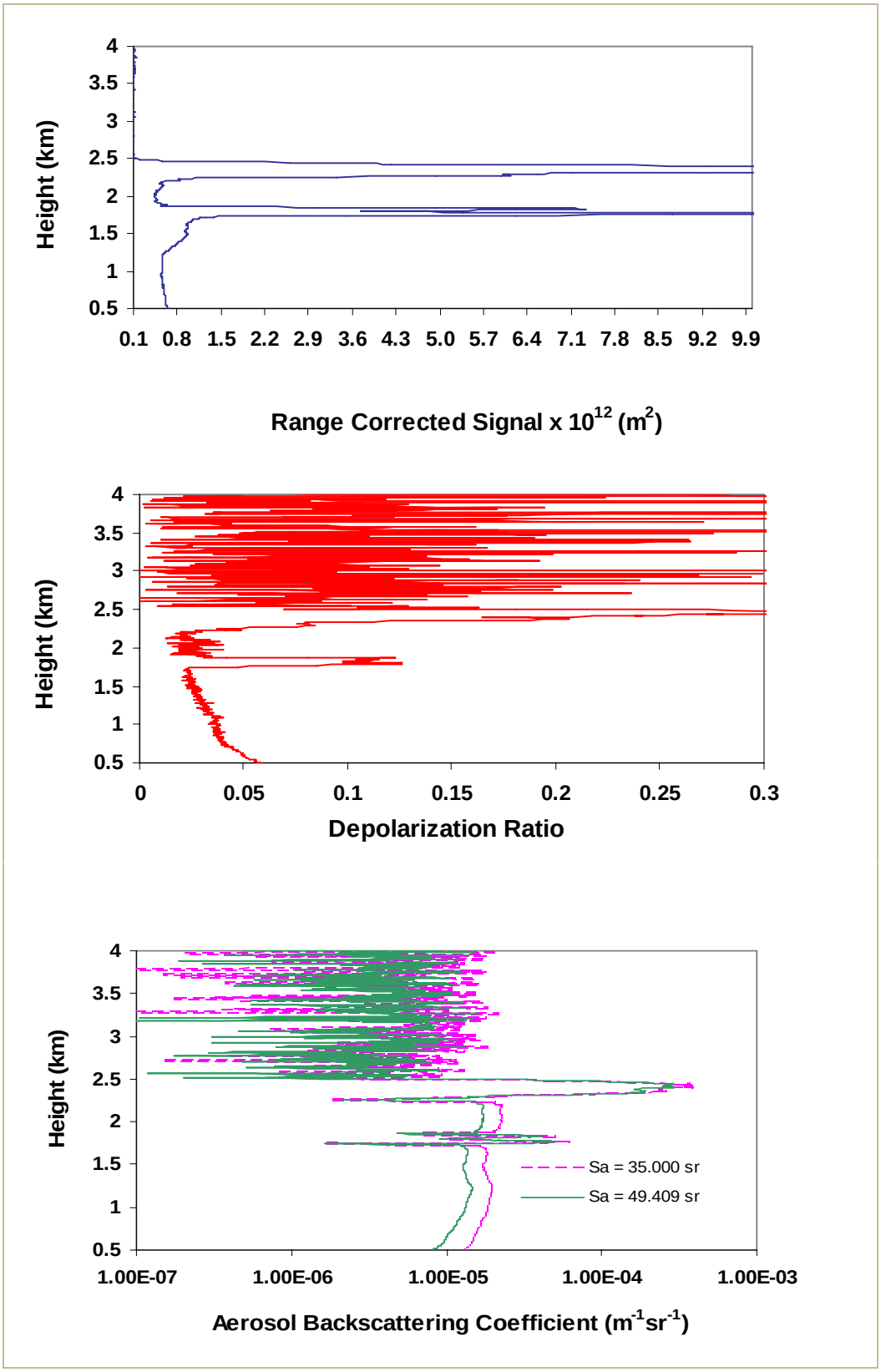
4.1.2 ผลกระทบของอัตราส่วนไลดาร์ต่อสัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับของละอองลอย β_a (z)

จากค่าอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอยรายวันที่คำนวณมาจากข้อมูลดิบ ณ สถานีวิจัย อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย ได้นำมาหาค่าอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอยเฉลี่ย (S_a) พร้อมค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) อยู่ในช่วง 42.557 ± 3.406 sr ถึง 55.737 ± 3.169 sr และมีค่าอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอยเฉลี่ยสุทธิเท่ากับ 49.409 sr ไปแทนค่าในสมการ (3-3) เพื่อหาค่า $\beta_m(z) = \beta_m(z_C)$ ที่ความสูงวิกฤต ดังผลในตารางที่ 4.2 แล้วจึงนำค่าที่ได้แทนลงในสมการ (3-2) เพื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับของละอองลอย $\beta_a(z)$ ที่ระดับความสูงต่าง ๆ โดยใช้ข้อมูลดิบที่วัดได้โดยเครื่องไลดาร์การกระเจิงแบบมี ณ อ.ศรีสำโรง จ.สุโขทัย (ชุดข้อมูลวันที่ 14 มกราคม 2547 รวม 24 ไฟล์) และอำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา (ชุดข้อมูลวันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2548 รวม 24 ไฟล์) ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกันเท่าที่เป็นไปได้ ทั้งนี้พารามิเตอร์อื่นที่เกี่ยวข้องและสามารถแสดงผลกระทบของอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอยที่ปรากฏต่อคุณลักษณะของละอองลอยในชั้นบรรยากาศได้แก่ ค่าสัญญาณแก้เชิงพิสัย และอัตราส่วนดีโพลาไรเซชัน ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.2 – 4.7

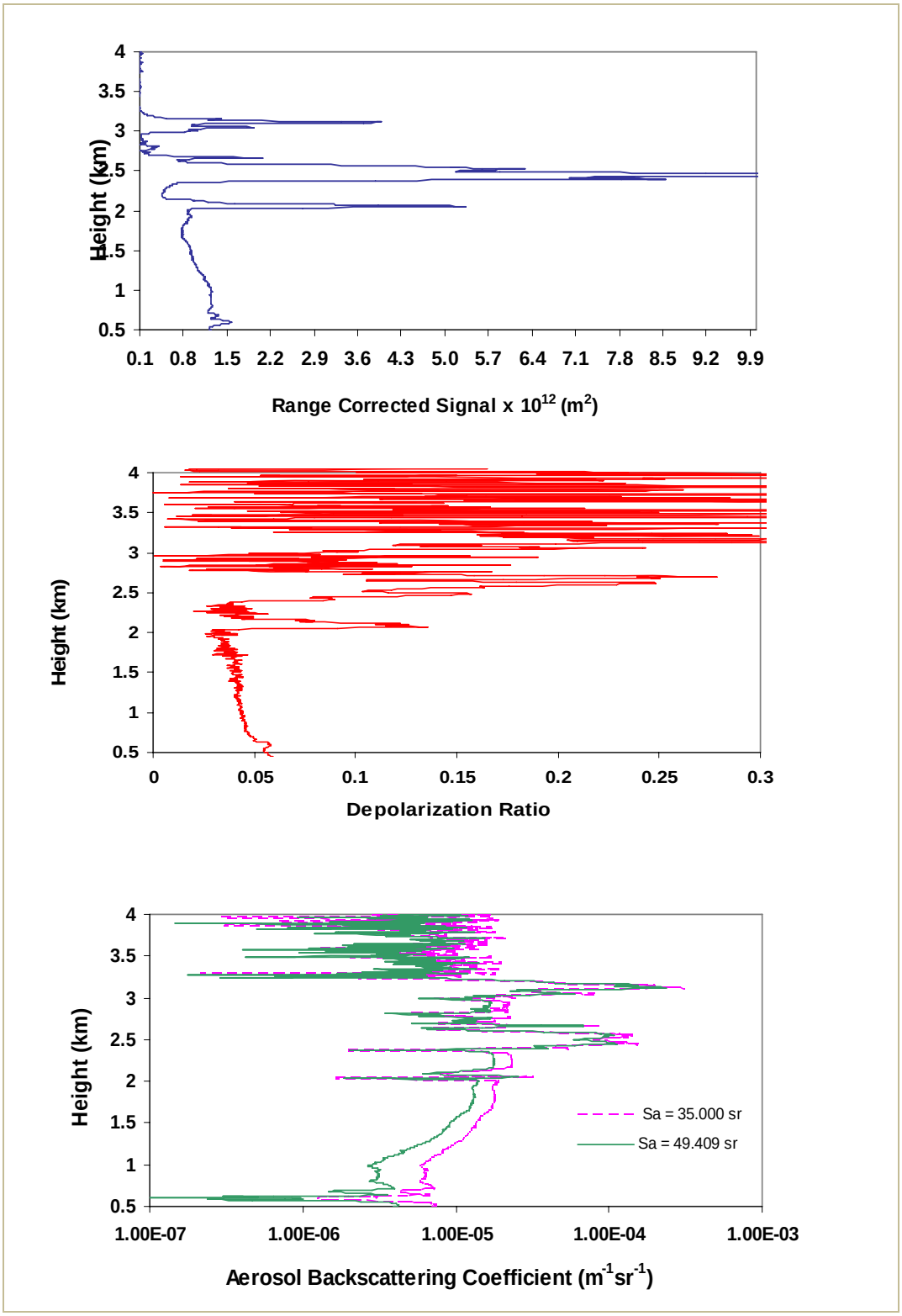
ตารางที่ 4.4 ค่าพารามิเตอร์ของละอองลอย ณ ความสูงวิกฤตโดยใช้
อัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอยเฉลี่ยสุทธิ = 49.409 sr

วัน	เวลา (LST)*	ค่าของพารามิเตอร์ ณ ความสูงวิกฤต	
		$X(z_C)$ (m^2)	$\beta_m(z_C)$ ($m^{-1}sr^{-1}$)
14 ม.ค. 2547 (สุโขทัย)	03.00	5.337×10^{10}	2.047×10^{-5}
	17.00	4.522×10^{11}	2.167×10^{-5}
	22.00	2.738×10^{11}	2.139×10^{-5}
14 ก.พ. 2548 (นครราชสีมา)	06.00	3.817×10^{11}	2.158×10^{-5}
	17.00	3.668×10^{11}	2.156×10^{-5}
	22.00	5.301×10^{11}	2.176×10^{-5}

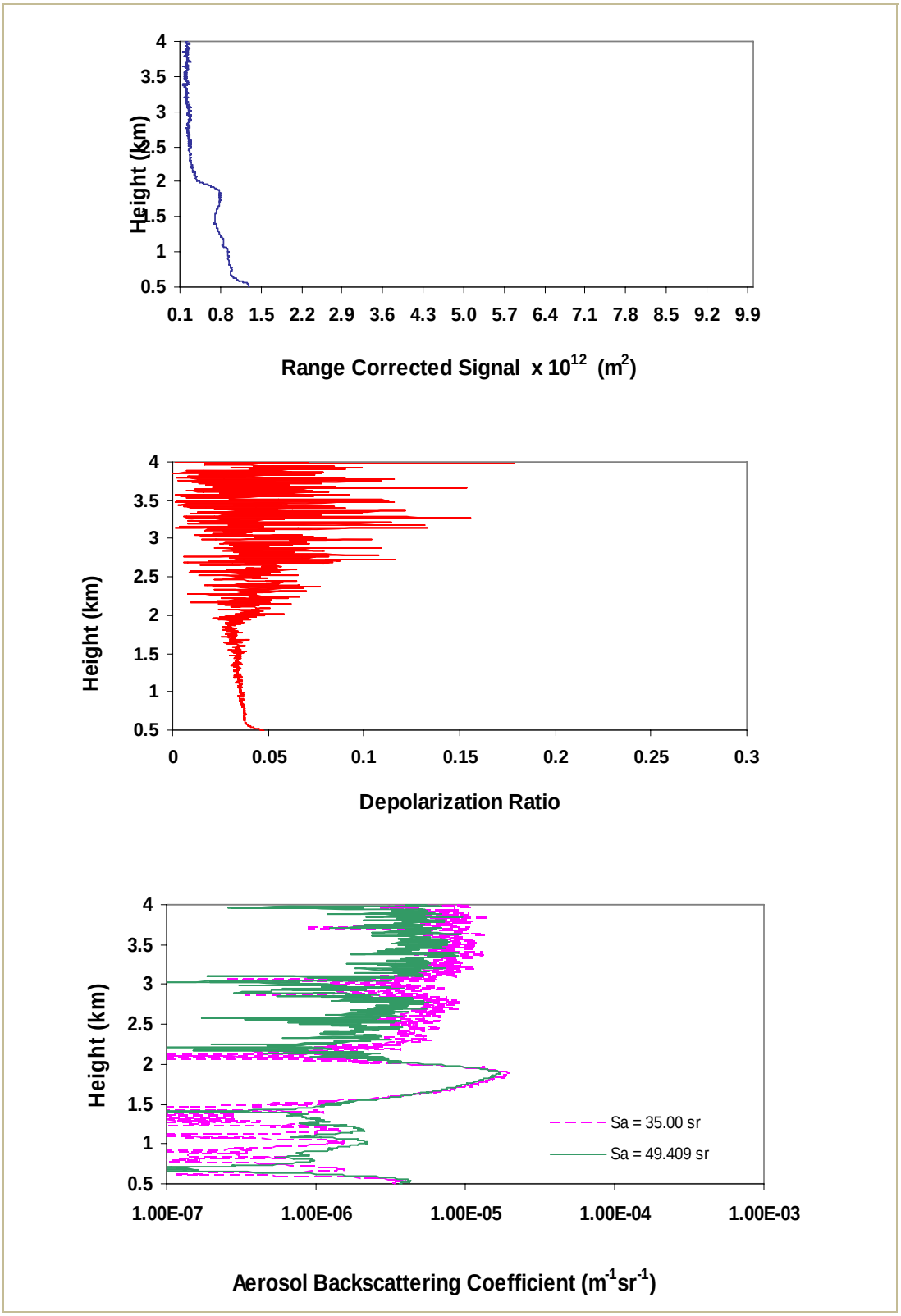
* LST $\Longrightarrow$ Local Standard Time



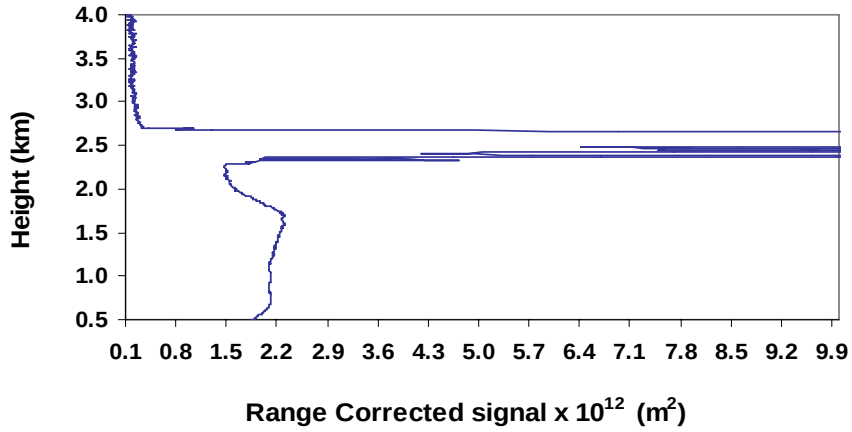
ภาพประกอบ 4.2 โพร์ไฟล์แนวดิ่งของสัญญาณแก้เชิงพิสัย อัตราส่วนดีโพลาไรเซชัน (δ) และ สัมประสิทธิ์กระเจิงกลับของละอองลอย β_a (z) วันที่ 14 มกราคม 2547 เวลา 03.00 น. ณ อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย

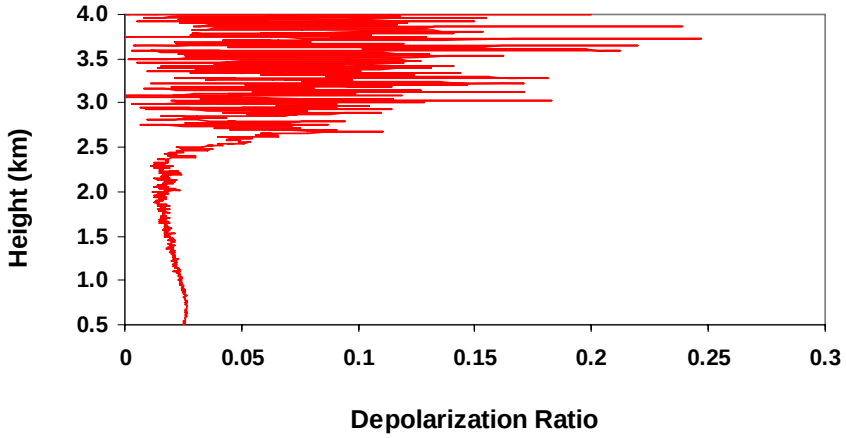


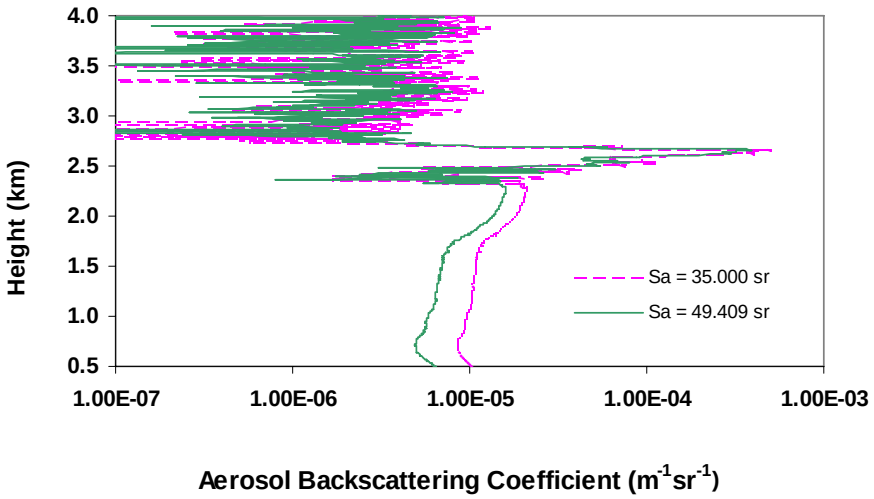
ภาพประกอบ 4.3 โพร์ไฟล์แนวดิ่งของสัญญาณแก้เชิงพิสัย อัตราส่วนดีโพลาไรเซชัน (δ) และสัมประสิทธิ์กระเจิงกลับของละอองลอย β_a (z) วันที่ 14 มกราคม 2547 เวลา 17.00 น. ณ อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย



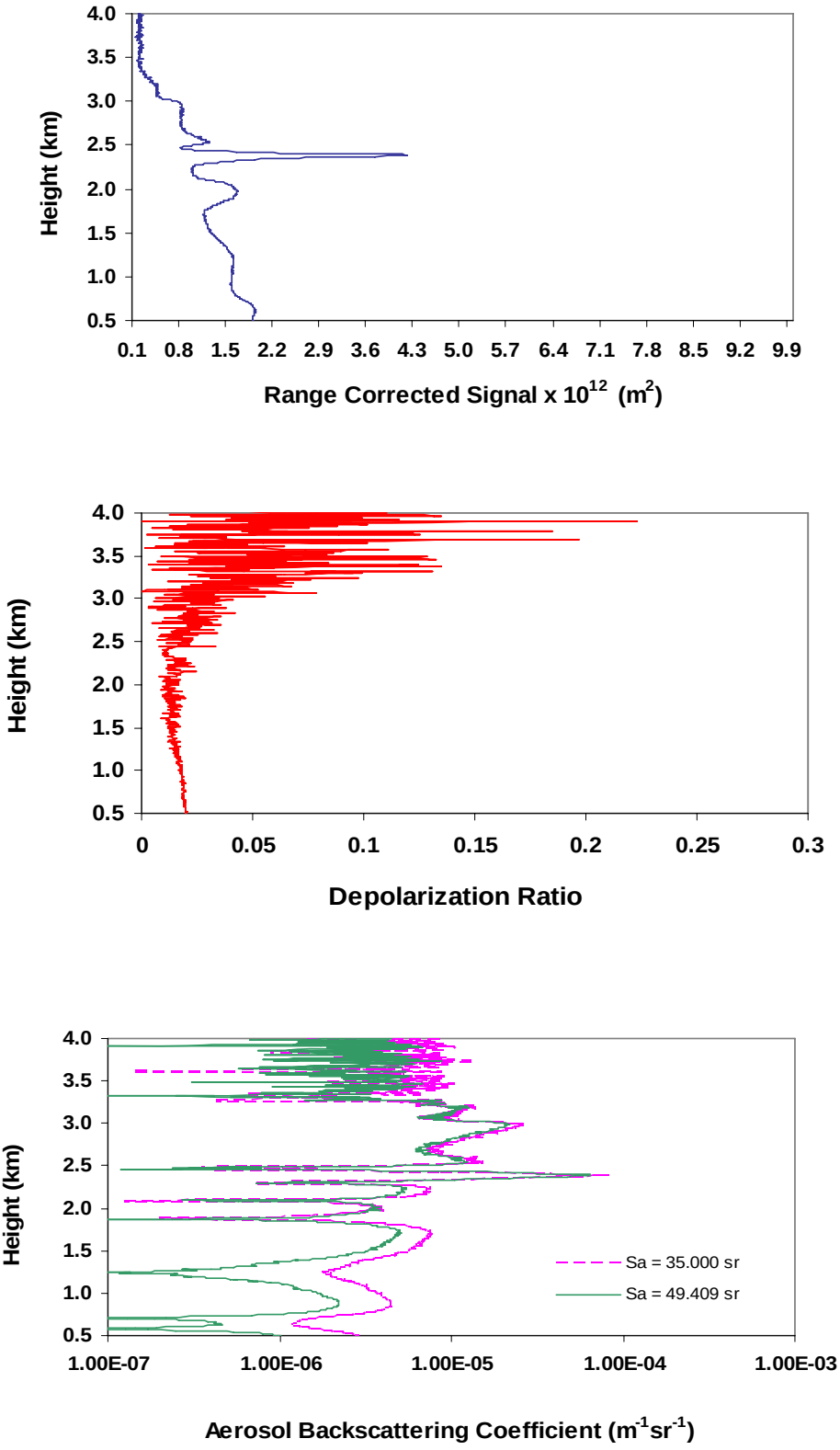
ภาพประกอบ 4.4 โพร์ไฟล์แนวดิ่งของสัญญาณแก้เชิงพิสัย อัตราส่วนดีโพลาไรเซชัน (δ) และสัมประสิทธิ์กระเจิงกลับของละอองลอย β_a (z) วันที่ 14 มกราคม 2547 เวลา 22.00 น. ณ อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย



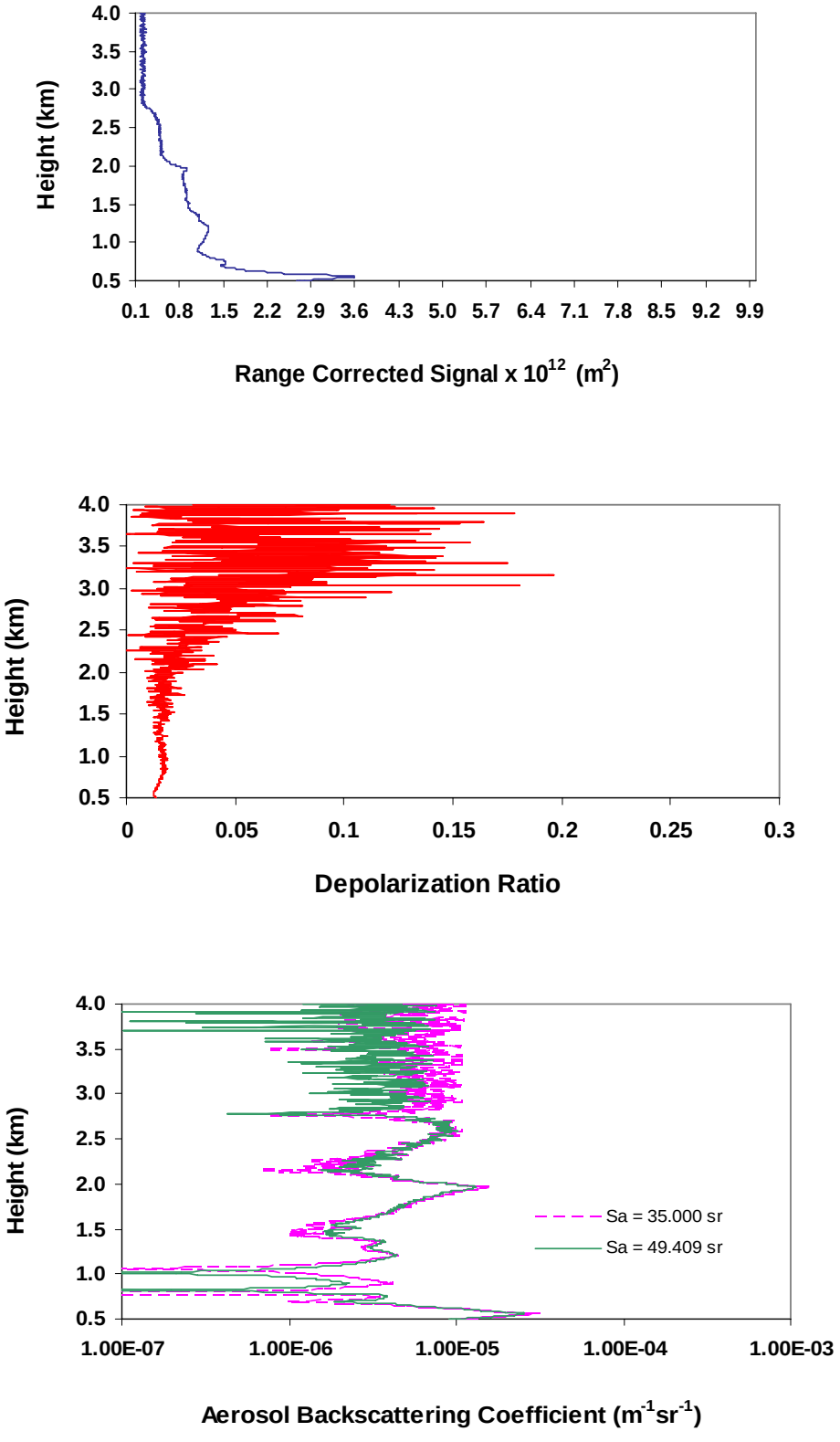




ภาพประกอบ 4.5 โพร์ไฟล์แนวดิ่งของสัญญาณแก้เชิงพิสัย อัตราส่วนดีโพลาไรเซชัน (δ) และสัมประสิทธิ์กระเจิงกลับของละอองลอย β_a (z) วันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2548 เวลา 06.00 น. ณ อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา



ภาพประกอบ 4.6 โพร์ไฟล์แนวดิ่งของสัญญาณแก้เชิงพิสัย อัตราส่วนดีโพลาไรเซชัน (δ) และสัมประสิทธิ์กระเจิงกลับของละอองลอย β_a (z) วันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2548 เวลา 17.00 น. ณ อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา



ภาพประกอบ 4.7 โพร์ไฟล์แนวดิ่งของสัญญาณแก้เชิงพิสัย อัตราส่วนดีโพลาไรเซชัน (δ) และ สัมประสิทธิ์กระเจิงกลับของละอองลอย β_a (z) วันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2548 เวลา 22.00 น. ณ อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา

4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.2.1 จากผลการคำนวณและวิเคราะห์ข้อมูลดิบจากเครื่องเรดิโอซอนด์ที่เก็บระหว่างเดือนเมษายน – มิถุนายน 2546 ณ สถานีวิจัย อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย พบว่าค่าอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอยเฉลี่ย (S_a) พร้อมค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) อยู่ในช่วง 42.557 $\pm$ 3.406 sr ถึง 55.737 $\pm$ 3.169 sr และมีค่าอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอยเฉลี่ยสุทธิเท่ากับ 49.409 sr ที่ความยาวคลื่น 532 nm ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากงานวิจัยที่กล่าวไว้ก่อนหน้าในหัวข้อ 2.3 ได้แก่งานของ Mitev และคณะซึ่งได้ค่าอัตราส่วนไลดาร์มีค่าคงตัวเท่ากับ 50 sr กรณีบริเวณต่างทวีป ทั้งนี้ได้ใช้เครื่องมือและวิธีการเดียวกันในการเก็บข้อมูลกับคณะผู้วิจัย ส่วนกรณีบริเวณประเทศเพื่อนบ้านในทวีปเอเชีย ณ เมืองชุงลี สาธารณรัฐประชาชนจีน ช่วงปีค.ศ. 2002-2004 โดย Chiang และคณะ พบว่าละอองลอยแบบฝุ่นมีค่าเฉลี่ยอัตราส่วนไลดาร์ 44 $\pm$ 19 sr โดยใช้ช่วงเวลาที่เก็บข้อมูลอยู่ในช่วงปีที่ใกล้เคียงกับงานวิจัย ซึ่งถือเป็นการยืนยันความน่าเชื่อถือของผลที่คำนวณได้จากงานวิจัยนี้เป็นอย่างดี

4.2.2 เมื่อใช้ค่าอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอยเฉลี่ยสุทธิเท่ากับ 49.409 sr ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับของละอองลอย $\beta_a(z)$ เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของอัตราส่วนไลดาร์ที่ปรากฏต่อคุณลักษณะของละอองลอยในชั้นบรรยากาศโดยเพิ่มเติม ค่าสัญญาณแก้เชิงพิสัย และอัตราส่วนดีโพลาไรเซชันซึ่งถือเป็นพารามิเตอร์หลักที่เกี่ยวข้อง และแสดงผลในรูปแบบโพรไฟล์ความสูงของค่าทั้งสาม โดยใช้ข้อมูลดิบที่วัดได้โดยเครื่องไลดาร์การกระเจิงแบบมี ณ อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย (ชุดข้อมูลวันที่ 14 มกราคม 2547 รวม 24 ไฟล์) และอำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา (ชุดข้อมูลวันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2548 รวม 24 ไฟล์)

จากการพิจารณาลักษณะโพรไฟล์แนวดิ่งของสัญญาณแก้เชิงพิสัย X (z) ร่วมกับอัตราส่วนดีโพลาไรเซชันของข้อมูลอำเภอศรีสำโรง ในภาพประกอบ 4.2 – 4.4 จะเห็นสัญญาณกระเจิงกลับของละอองลอยในชั้นโทรโพสเฟียร์ (เลือกพิจารณาความสูง 0.5 – 4 km เหนือพื้นดิน) แสดงให้เห็นว่ามีปริมาณละอองลอยอยู่หนาแน่น ณ ที่ความสูงต่ำกว่า 1.5 - 2 กิโลเมตรซึ่งอยู่ใต้ฐานเมฆทั้ง 3 ช่วงเวลา คือ 03.00 น. 17.00 น. และ 22.00 น. ที่แทนลักษณะบรรยากาศที่มีเมฆปกติ มีเมฆมาก และท้องฟ้าโปร่ง(ไม่มีเมฆ) ตามลำดับ โดยสัญญาณที่วัดได้แล้วนำมาคำนวณเป็นสัญญาณแก้เชิงพิสัย มีค่าอยู่ใน

อันดับระหว่าง 10^{11} – 10^{12} m^2 สำหรับละอองลอย และบริเวณที่มีเมฆอยู่จะเกิดการกระเจิงทวีคูณทำให้มีสัญญาณการแก้เชิงพิสัยมีค่าอยู่ในอันดับที่สูงกว่า 10^{13} m^2 และเมื่อพิจาณาควบคู่ไปกับโพรไฟล์ค่าอัตราส่วนดีโพลาไรเซชัน (δ) พบว่าละอองลอยส่วนมากมีขนาดเล็ก ถ้าเป็นละอองลอยขนาดเล็กมากๆ จนนับได้ว่ามีรูปร่างเป็นทรงกลมก็จะมีค่าอัตราส่วนดีโพลาไรเซชันเชิงเส้นต่ำมากจนมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ซึ่งโดยทั่วไปละอองลอยจะมีค่าอัตราส่วนดีโพลาไรเซชันเชิงเส้นต่ำกว่า 0.1 ดังนั้นบริเวณใดที่มีอัตราส่วนดีโพลาไรเซชันเชิงเส้นสูง ดังเช่นในภาพประกอบ 4.2 และ4.3 ที่มีค่าอัตราส่วนดีโพลาไรเซชันสูงสุดประมาณ 0.15 และมีสัญญาณแก้เชิงพิสัยที่สูงขึ้น แสดงว่าบริเวณนั้นมีเมฆอยู่ เนื่องจากความหนาแน่นของโมเลกุลน้ำทำให้เกิดการกระเจิงทวีคูณในเมฆทำให้สัญญาณการแก้เชิงพิสัยมีค่าสูงถึง 10^{13} m^2 ณ เวลา 03.00 น. และ 17.00 น. การเกาะตัวของโมเลกุลน้ำทำให้อนุภาคภายในเมฆมีขนาดใหญ่และไม่เป็นทรงกลม ซึ่งเป็นผลให้อัตราส่วนดีโพลาไรเซชันเชิงเส้นที่ได้มีค่าสูง ในขณะที่ข้อมูลอำเภอพิมาย ในภาพประกอบ 4.5– 4.7 ทั้ง 3 ช่วงเวลาคือ 06.00 น. 17.00 น. และ 22.00 น. ที่แทนลักษณะบรรยากาศที่มีเมฆมาก มีเมฆบางส่วน และท้องฟ้าโปร่ง(ไม่มีเมฆ) ตามลำดับ ทั้งนี้พบว่ามีลักษณะการแจกแจงตัวของละอองลอยและเมฆคล้ายกับข้อมูลที่อำเภอศรีสำโรง เพียงแต่ระดับความสูงของเมฆดีดขึ้นไปอยู่ในช่วง 1.5-2.5 กิโลเมตร

การเปรียบเทียบความแตกต่างของผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์กระเจิงกลับของละอองลอยเมื่อใช้อัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอยเท่ากับ 35 sr กับ 49.409 sr พบว่าผลจากกราฟรูปที่ 3 ในภาพประกอบ 4.2 - 4.7 มีความสอดคล้องกันโดยผลคำนวณที่ได้นี้อยู่ในอันดับของค่าสัมประสิทธิ์กระเจิงกลับของละอองลอยโดยทั่วไปที่มีการศึกษากันอย่างกว้างขวางในต่างประเทศคืออยู่ระหว่างช่วง 10^{-4} – 10^{-6} $m^{-1}sr^{-1}$ ส่วนเมฆจะมีค่ามากกว่า 10^{-5} $m^{-1}sr^{-1}$ ซึ่งตามแนวโน้มของเส้นกราฟโดยรวมก็สามารถบ่งบอกความแตกต่างระหว่างละอองลอยและเมฆได้ดี แต่เมื่อพิจารณาเส้นกราฟสีเขียวอย่างละเอียดจะปรากฏลักษณะเด่นที่ชัดเจนของค่า ณ ระดับความสูงต่างๆ ในแต่ละช่วงเวลา ดังเช่น ในภาพประกอบ 4.2 เวลา 03.00 น. สามารถบอกได้ว่ามีเมฆที่บริเวณความสูงประมาณ 1.7 กิโลเมตร โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์กระเจิงกลับของละอองลอยที่มีค่าสูงสัมพันธ์กับกราฟสัญญาณแก้เชิงพิสัย X (z) ในรูป 4.1 ส่วนความสูงที่เหนือจากบริเวณ 2.5 กิโลเมตรขึ้นไปไม่มีละอองลอย หรือมีละอองลอยน้อยมาก จึงทำให้สัญญาณที่กลับมาเนื่องจากละอองลอยน้อยและค่าสัมประสิทธิ์กระเจิง

กลับเนื่องจากละอองลอยที่คำนวณได้มีลักษณะเป็นเหมือนการรบกวนทั่วไปมากกว่า โดยจะเห็นได้ชัดเจนจากการพิจารณาภาพประกอบ 4.4 เวลา 22.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ไม่มีเมฆปรากฏอยู่โดยพิจารณาโพรไฟล์ของสัมประสิทธิ์กระเจิงกลับของละอองลอยจากทั้งสองเส้นกราฟซึ่งปรากฏอย่างชัดเจนว่าเหนือระดับความสูง 1.5กิโลเมตรแสดงสัมประสิทธิ์กระเจิงกลับของละอองลอย เนื่องจากการรบกวนเช่นกัน

อีกทั้งเมื่อพิจารณาลักษณะภูมิศาสตร์ของสถานที่เก็บข้อมูลทั้งสองที่นั้น จะเห็นได้ว่าที่อำเภอพิมายโดยที่ตั้งของสถานีวิจัยอยู่ในบริเวณล้อมรอบด้วยไร่มันสำปะหลังเป็นบริเวณกว้าง ขณะที่อำเภอศรีสำโรง สถานีวิจัยอยู่ในชุมชนที่อยู่อาศัย ห่างจากศูนย์กลางของอำเภอปรากฏว่าในวันที่ทำการวัดที่อำเภอพิมายมีการเผาไร่มันในบริเวณใกล้เคียงเป็นช่วงๆ ดังนั้นจึงมีละอองลอยเนื่องจากการเผาของไร่มันในลักษณะเป็นเม็ดที่ใหญ่กว่าปกติทั่วไปลอยขึ้นสู่บรรยากาศอย่างเป็นบริเวณกว้างและหนาแน่น จึงทำให้ละอองลอยกระจายตัวเป็นปริมาณมากและสูงเหนือความสูงจนเกือบถึง 2.5 กิโลเมตรในบางช่วงเวลา ขณะที่ปริมาณละอองลอยที่อำเภอศรีสำโรงมีความหนาแน่นมากอยู่ในบริเวณเหนือพื้นดินระดับความสูงต่ำกว่า 2 กิโลเมตรลงมา และยังสังเกตเห็นปริมาณละอองลอยจำนวนมากและขนาดใหญ่ (พิจารณาจากค่าอัตราส่วนดีโพลาไรเซชันที่สูง) เกิดขึ้นในช่วงเวลาประมาณตั้งแต่ 04.00 น. ถึง 15.00 น. ณ บริเวณอำเภอพิมายนี้ ซึ่งอาจวิเคราะห์ได้จากผลของการเผาไหม้ชีวมวล (Biomass Burning) เนื่องจากกิจวัตรประจำวันของชาวไร่บริเวณใกล้เคียงเริ่มทำงานและเสร็จสิ้นภาระงานในแต่ละวันในช่วงฤดูหนาว ส่วนค่าสัมประสิทธิ์กระเจิงกลับของละอองลอยตลอดทั้งวันของทั้งสองอำเภอมีค่าอยู่ในอันดับที่สอดคล้องกัน มีค่าในอันดับของ 10^{-7} $m^{-1}sr^{-1}$

บทที่ 5
สรุปและอภิปรายผล

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองในบทที่ 4 สามารถสรุปได้ ดังนี้

5.1.1 ผลการคำนวณและวิเคราะห์ข้อมูลดิบจากเครื่องเรดิโอซอนด์โดยวิธีการของ Ackermann ทำให้สามารถหาค่าอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอยเฉลี่ยสุทธิเท่ากับ 49.409 sr ที่ความยาวคลื่น 532 nm ซึ่งเป็นข้อมูลเฉพาะบริเวณประเทศไทย ถือว่าเป็นความสำเร็จในขั้นต้นที่สำคัญยิ่งเนื่องจากในประเทศไทยไม่มีเครื่องมือที่สามารถวัดอัตราส่วนไลดาร์ของละอองลอยได้โดยตรง หรือถ้าจะใช้เครื่องมืออื่นเก็บข้อมูลที่มีความเกี่ยวข้องของตัวแปรก็ยังต้องเผชิญกับข้อจำกัด เช่น ถ้าใช้เครื่องเรดิโอมิเตอร์เชิงแสง (Photoradiometer) ก็จะเก็บข้อมูลการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ได้ในช่วงกลางวันขณะที่พระอาทิตย์ขึ้นและตกเท่านั้น และขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลรวมถึงสมการทางคณิตศาสตร์ค่อนข้างมีความซับซ้อน ดังนั้นจากข้อมูลดิบที่มีผนวกกับวิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับงานวิจัยในระดับสากลจึงจัดได้ว่าเทคนิคการวิเคราะห์และการคำนวณทางคณิตศาสตร์นี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางหลักสำหรับการศึกษาวิทยาศาสตร์บรรยากาศ (Atmosperic Science) ในอนาคตได้

5.1.2 ตัวแปรที่น่าสนใจต่อการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงแสงของละอองลอยได้แก่ อัตราส่วนไลดาร์ ที่สามารถคำนวณได้จากข้อมูลดิบที่เก็บโดยเรดิโอซอนด์ ผนวกกับการนำผลที่ได้มาใช้วิเคราะห์สัญญาณกระเจิงกลับเนื่องจากละอองลอยด้วยเครื่องไลดาร์การกระเจิงแบบมีซึ่งได้แก่ สัมประสิทธิ์กระเจิงกลับของละอองลอย ควบคู่กับสัญญาณแก้เชิงพิสัย และอัตราส่วนดีโพลาไรเซชัน การทราบค่าและแสดงผลในรูปแบบโพรไฟล์แนวดิ่งของตัวแปรทั้งสามนี้ทำให้สามารถวิเคราะห์การแจกแจงความหนาแน่น (Density Distribution) และการแจกแจงขนาด (Size Distribution) ของละอองลอยได้ รวมถึงแยกความแตกต่างของเมฆออกจากละอองลอยได้ชัดเจนขึ้น โดยในงานวิจัยนี้ได้ผลการคำนวณ

ทีได้ออกมาในทิศทางที่สอดคล้องกันทั้งสามตัว ช่วยยืนยันการประมวลผลการวิเคราะห์ละอองลอยและเมฆได้อย่างน่าเชื่อถือ

5.2 การอภิปรายผล

ค่าสัมประสิทธิ์กระเจิงกลับของละอองลอยนับว่าเป็นปริมาณที่คำนวณให้ได้ค่าแม่นตรงค่อนข้างยาก เนื่องจากในสมการที่ใช้การคำนวณต้องทราบค่าตัวแปรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องหลายตัวแปรซึ่งบางวิธีเลือกใช้เป็นค่าคงตัวทั้งหมด โดยตัวแปรดังกล่าวนี้ก็ยากที่จะหาค่าแน่นอนเช่นกันเพราะตัวแปรเหล่านี้ขึ้นกับคุณสมบัติทางกายภาพเชิงแสงของละอองลอย ซึ่งขึ้นกับชนิด ขนาด และความหนาแน่นของละอองลอยในแต่ละบริเวณ และละอองลอยนี้กระจายและลอยตัวอยู่ในชั้นบรรยากาศอย่างไม่แน่นอน มีการแปรผันตามเวลาและสถานที่ (Spatial and Temporal Variation) ดังนั้นการศึกษาค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง จึงเป็นการศึกษาในลักษณะที่เป็นการทำนาย และพิจารณาภาพรวมเท่านั้น อย่างไรก็ตามความน่าเชื่อถือของผลการคำนวณและวิเคราะห์ยังสามารถเทียบเคียงได้จากอันดับ (Order) ของค่าของตัวแปรที่คำนวณได้จากการศึกษาเชิงทฤษฎีและจากเอกสารอ้างอิงในรูปแบบงานวิจัยของต่างประเทศ รวมทั้งอาศัยความรู้และหลักการทางฟิสิกส์เชิงแสงที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรที่ขึ้นกับคุณสมบัติทางกายภาพเชิงแสงมาประกอบการอธิบายด้วย

บรรณานุกรม

A.R. Biral (2003). Analysis of The 2002 Malargue LIDAR Data through Fernald's Method, *Research Report*, UNICAMP. Brazil.

B. Tatarov, N. Sugimoto, I. Matsui and A. Shimizu (2004) Systematic Observations of Lidar Ratio for Tropospheric Aerosols and Clouds by High-Spectral Resolution Lidar Over Tsukuba, Japan, *Proceeding of the 22nd International Laser Radar conference*, (ILRC 2004), 12-16 July 2004, Italy.

C.- W. Chiang, S.K. Das and J.- B. Nee (2008) An Iterative Calculation to Derive Extinction-to Backscatter Ratio Based on Lidar Measurements, *J. of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, **109**, pp.1187-1195.

F. G. Fernald (1984) Analysis of Atmospheric Lidar Observations: Some Comments, *Applied Optics,* **23**, pp. 652-653.

H. Salemink, P. Schotanus and J. B. Bergwerff (1984) Quantitative Lidar at 532 nm for Vertical Extinction Profiles in the Lidar Solution, *Appl. Phys*., **34B**, pp. 187-189.

J. A. Reagan, M. P. McCormick and J. D. Spinhirne (1989) LIDAR Sensing of Aerosols and Clouds in The Troposphere and Stratosphere. *Proceeding of the IEEE*, **77**(3), pp. 433-445.

J. Ackermann (1998) The Extinction-to-Backscatter Ratio of Tropospheric Aerosol: A Numerical Study, *J. of Atmospheric and Oceanic Technology*, **15**, pp. 1043-1050.

J. D. Klett (1985) Lidar Inversion with Variable Backscatter/Extinction Ratios, *Applied Optics,* **24**, pp. 1638-1643.

บรรณานุกรม (ต่อ)

K. Iokibe, Y. Toyota, O. Wada and R. Koga (2005) A scheme to Classify Clouds with the Depolarization Ratio and Backscattering Coefficient Measured by Lidar, *Memoirs of the Faculty of Engineering, Okayama University*, **39**, pp. 93-101.

L. de Schoulepnikoff, V. Mitev, B. Calpini and H. Van den Bergh (1998) Tropospheric air pollution monitoring, lidar, **Encyclopedia of Environmental Analysis and Remediation**, John Wiley & Sons Inc, ISBN 0-471-11708-8, p. 4873.

N. Sugimoto (2001) NIE Compact Mie Scattering LIDAR (532 nm, dual polarization), User Manual, National Institute of Environmental Studies of Japan, Japan.

P.S. Argall and R.J. Sica (2003) **LIDAR/Atmospheric Sounding Introduction**, The Elsevier Science Ltd., p. 1169.

S. Ruangrungrote, A. Intasorn and A. Chabangbon (2007) Observation of Tropospheric Aerosol Using Mie Scattering LIDAR at Srisamrong, Sukhothai Province, *Naresuan University Science Journal*, **4**(1), pp. 25-30.

S. Ruangrungrote and A. Intasorn (2007) Mie Scattering Lidar for the Study of Aerosols Vertical Profiles in Thailand, *Research Report*, Srinakharinwirot University, Bangkok, Thailand.

T. Takamura, Y. Sasano and T. Hayasaka (1994) Tropospheric Aerosol Optical Properties Derived from Lidar, Sun Photometer and Optical Particle Counter Measurements, *Appl. Opt*., **33**, pp.7132-7140.

URL:http://www.webmet.com/met_monitoring/912.html., Accessed September 14, 2010.

บรรณานุกรม (ต่อ)

URL:http://lidar.ssec.wisc.edu/papers/pp_thes/node20.htm., Accessed August 24, 2006.

URL:http://www.aero.org/publications/crosslink/summer2000/02.html., Accessed September14, 2010.

V. Mitev, R. Matthey, M. Frioud, M.K. Srivastava, S. Eckhardt, and A. Stohl (2005) Backscatter Lidar Observation of the Aerosol Stratification in the Lower Troposphere During Winter Bise: A Case Study, *Meteorologische Zeitschrift*, **14**(5), pp. 663-669.

Y. Motoaki, Z. Jixia, M. Kohei, I. Toshikazu, A. Tetsuo and L. Lichou (2002) Observation of Troposheric Aerosol by Using a Mie Lidar: Observation at Arid Region in China, *J. of the Communications Research Laboratory*, **49**(2), pp. 233-242.

ประวัติย่อคณะผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริลักษณ์ เรืองรุ่งโรจน์

และ

รองศาสตราจารย์อรุณีย์ อินทศร

ชื่อ-สกุล ศิริลักษณ์ เรืองรุ่งโรจน์ (Ms Siriluk RUANGRUNGROTE)

ตำแหน่งวิชาการ อาจารย์ (พฤษภาคม 2539 – กันยายน 2551)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ระดับ 8 (ตุลาคม 2551 – ปัจจุบัน)

ที่ทำงาน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 เขตวัฒนา กรุงเทพ 10110

โทรศัพท์ 0-2664-1000 ต่อ 8553 โทรสาร 0-2664-1000 ต่อ 8551

E-mail sirilukr@swu.ac.th

ประวัติการศึกษา

2536 Bachelor of Science in Physics
Srinakharinwirot University, Bangkok, Thailand

2542 Certificate of Attendance 36th Culham Plasma Physics Summer School UKAEA, St Edmund Hall, Oxford University, United Kingdom

2544 Master of Philosophy in Physics
University of Warwick, Coventry, United Kingdom

วิทยานิพนธ์ Large Amplitude Electron Oscillations in A Warm Plasma.

ความเชี่ยวชาญ Plasma Physics, Nonlinearity, Hamiltonian and Classical Mechanics, Chaos, Geophysics, Atmospheric Science, Computational Physics and Science Education

สถานะทางวิชาชีพ สมาชิก Institute of Physics, United Kingdom

สมาชิกเครือข่ายการพัฒนาวิชาชีพอาจารย์และองค์กรระดับอุดมศึกษาแห่งประเทศไทย: ควอท

งานวิจัย

โครงการวิจัย	สาขา	สถานภาพ	ระยะเวลา
1. Developing the Academic Evaluation System Based on Teaching Feedback Evaluation Form.	การศึกษา	หัวหน้าโครงการ	2545-2547
2. การศึกษาผลสัมฤทธิ์กระบวนการเรียนรู้ของหลักสูตรการศึกษามหาบัณฑิตสาขาวิทยาศาสตรศึกษา(แผน ข) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	การศึกษา	ผู้ร่วมวิจัย	2548–2549
3. Mie Scattering Lidar for the Study of Aerosols Vertical Profiles in Thailand	Geophysics	หัวหน้าโครงการ	2550 - 2551

โครงการวิจัย	สาขา	สถานภาพ	ระยะเวลา
4. การศึกษาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยและไนโตรเจนตลอดคอลัมน์ของชั้นบรรยากาศที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ณ อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย ด้วยเครื่องเรดิโอมิเตอร์เชิงแสง	Geophysics	หัวหน้าโครงการ	ธันวาคม 2552– พฤศจิกายน 2553
5. Study of Lidar Ratio Effect on Aerosol and Cloud Backscattering Coefficients in Thailand Using Mie Scattering Lidar	Geophysics	หัวหน้าโครงการ	มีนาคม 2553 – สิงหาคม 2554
6. Retrieval Algorithm of Spectral Dependence of Aerosol Optical Depth in Climate Studies at Srisamrong District of Sukhothai Province Using Multi-Filter Rotating Shadowband Radiometer (MFR-7)	Geophysics	ผู้ร่วมวิจัย (มี.ค.-ส.ค.53) หัวหน้าโครงการ (ก.ย.53-ก.พ.54)	มีนาคม 2553 – กุมภาพันธ์ 2554

ตำรา/เอกสารประกอบการสอน:

1. เอกสารประกอบการสอนวิชา วษ 533 แรงและพลังงาน (เรื่องพลังงานความร้อน และการใช้พลังงาน)
2. เอกสารประกอบการสอนวิชา ฟส 100 ฟิสิกส์ทั่วไป (เรื่องสมบัติของสสารและเทอร์โมไดนามิกส์)
3. เอกสารประกอบการสอนวิชา ฟส 371 ภาษาอังกฤษสำหรับฟิสิกส์ 1
4. เอกสารประกอบการสอนวิชา ฟส 372 ภาษาอังกฤษสำหรับฟิสิกส์ 2
5. เอกสารประกอบการสอนวิชา ฟส 312 กลศาสตร์ 2
6. หนังสือฟิสิกส์พลาสมาเบื้องต้น (ISBN 978-974-258-396-5)
7. เอกสารประกอบการสอนวิชา ฟส 211 กลศาสตร์ (ครึ่งหลัง)
8. เอกสารประกอบการสอนวิชา วทอ 302 ภาษาอังกฤษสำหรับวิทยาศาสตร์ 2

ผลงานตีพิมพ์

Scientific Journals:

1. S. Ruangrungrote, E. Erbim, and A. Intasorn, **Quantitative Elemental Analysis of Smoke Samples Using Wavelength Dispersive X-RAY Fluorescence Spectrometer**. *KMITL International Science Journal,* Vol. 6(1), 2006, pp. 106-112. (Impact Factor 0.023, TCI 2006)
2. S. Ruangrungrote, A. Intasorn and A. Chabangbon, **Observation of Tropospheric Aerosol Using Mie Scattering LIDAR at Srisamrong, Sukhothai Province**. *Naresuan University Science Journal*, Vol. 4(1), 2007, pp. 25-30. (Impact Factor 0.024, TCI 2006)

3. S. Ruangrungrote, A. Intasorn, J. Sindermsuk and M. Attasongkroah, **The Feasibility of GasPak Envelope Production for Anaerobic Bacterial Cultivation**. *Thammasat International Journal of Science and Technology*. Vol. 13(3), 2008. pp. 1-7. (Impact Factor 0.031, TCI 2006)
4. S. Ruangrungrote and A. Intasorn, **Physical Description of the Apparent Color of Glass Samples as an Undergraduate.** *KMITL International Science Journal.* Vol. 8(1), 2008, pp. 51-54. (Impact Factor 0.023, TCI 2006)
5. S. Ruangrungrote, A. Intasorn and J. Sindermsuk, **Gas Analyses of Anaerobic or Microaerophillic Generating Systems Using Gas Chromatography**. *J. Met. Mater. Miner*. Vol. 18(2), 2008, pp. 13-16. (Impact Factor 0.102, TCI 2007)
6. S. Ruangrungrote, A. Intasorn, A. Rungjang and A. Chabangbon, **Two Approaches of Tropospheric Aerosol Volume Backscattering Coefficient Determination Using Mie Scattering LIDAR in Sukhothai**. *KMUTT Research and Development J.* 32, 2009, pp. 77-87. (Impact Factor 0.044, TCI 2008)
7. S. Ruangrungrote, A. Chitchaeng, A. Intasorn and A. Chabangbon, **Clear Sky Fitting of Multifilter Rotating Shadowband Radiometer Data for Aerosol Optical Depth Determinations**. *Naresuan University Science Journal*, Vol. 6(1), 2009, pp. 1-9. (Impact Factor 0.036, TCI 2008)
8. S. Ruangrungrote, W. Srisongpleay and A. Intasorn. **Retrieval Algorithm of Total Atmospheric Column Nitrogen Content Using Multi-Filter Rotating Shadowband Radiometer in Thailand**. *Khon Kaen University Science Journal*, Vol. 2(38), 2010, pp. 261-270. (Impact Factor 0.03, TCI 2010)
9. S. Ruangrungrote, S. Chanthrasre and A. Intasorn. Modelling of Aerosol Parameters Retrieval Algorithm based on Mie Scattering Lidar: (APRA). *KMITL Sci. Tech. Journal*. Vol. 10(1), 2010, pp. 9-18. (Impact Factor 0.05, TCI 2010)
10. S. Ruangrungrote, P. Jaihom and A. Intasorn. Wavelength Dependence of Aerosol Optical Depth in 2003 at Sri Samrong District of Sukhothai Province in Thailand. *KMUTT Research and Development J.* 33(2), 2011, pp. 57-72. (Impact Factor 0.023, TCI 2010)

Conference Papers:

1. S. Ruangrungrote and K. Jaroensutasinee. **Quantum Chaos of Excited Hydrogen Atoms in Strong Magnetic Field**. Poster presented in The 22nd Congress on Science and Technology of Thailand. Bangkok, Thailand.1996.
2. S. Ruangrungrote, A. Intasorn, S. Taveeta and M. Hengwattana **The Study of Quantitative X-RAY Fluorescence Analysis under The Influence of Fraction Binder in Zircon Pellets**., Proceedings of The 30th Congress on Science and Technology of Thailand. Bangkok, Thailand. 2004.
3. S. Ruangrungrote, A. Intasorn and S. Songsom, **The Wavelength Dispersive X-RAY Fluorescence Analysis in Thick Emulsion Paint Film Specimens**. Proceedings of The 30th Congress on Science and Technology of Thailand. Bangkok, Thailand. 2004.
4. S. Ruangrungrote, A. Chabangbon and A. Intasorn, **Troposphere Atmospheric Observation by Mie Scattering Lidar at Srisamrong, Sukhothai Province**. Proceedings of The 32nd Congress on Science and Technology of Thailand. Bangkok, Thailand, 2006.
5. P. Khumkhom, S. Ruangrungrote and S. Angkaew, **A Construction of Low Cost Electrospinning Equipment**. Proceedings of The 2nd International Conference on Advances in Petrochemicals and Polymers (ICAPP 2007). Bangkok, Thailand, 2007.

6. S. Ruangrungrote and A. Intasorn, **Experimental Design of Project Task for Ungergraduate Students to Elucidate Their Conceptual Physics Knowledge**. Proceedings of ICASE Asian Symposium 2007. Chonburi, Thailand, 2007.
7. S. Ruangrungrote and A. Intasorn, **Problem-Based Learning for Graduate Student in Science Education Program**. Proceedings of ICASE Asian Symposium 2007. Chonburi, Thailand, 2007.
8. S. Ruangrungrote, A. Intasorn and A. Chabangbon, **Retrieval of Instantaneous Aerosol Optical Depths from MFR-7 and Mie Lidar dataset at Sukhothai Province, Thailand**. Proceedings of International Symposium on Geoscience Resources and Environments of Asian Terranes: GREAT 2008 (Special Issue of Bulletin of Earth Sciences of Thailand). Bangkok, Thailand, 2008.
9. S. Ruangrungrote, A. Intasorn and A. Chabangbon, **Tropospheric Aerosol Volume Backscattering Coefficients Determination Using Mie Lidar at Phimai District, Thailand**. Proceedings of International Symposium on Geoscience Resources and Environments of Asian Terranes: GREAT 2008 (Special Issue of Bulletin of Earth Sciences of Thailand). Bangkok, Thailand, 2008.

Reports:

1. S. Ruangrungrote, N. Phinichka, A. Intasorn, and O. Jeerapong, **Developing the Academic Evaluation System Based on Teaching Feedback Evaluation Form**. Sponcered by Srinakharinwirot University, 2002-2004. (Head of Project)
2. A. Intasorn, D. Sakdee, S. Chainakul, S. Wongboonnak and S. Ruangrungrote, **Learning-Process-Effectiveness of Master of Education Program in Science Education (Program B)**. Sponcered by Faculty of Science, Srinakharinwirot University, 2005-2006. (Co-Researcher)
3. S. Ruangrungrote and A. Intasorn, **Mie Scattering Lidar for the Study of Aerosols Vertical Profiles in Thailand**. Sponcered by Srinakharinwirot University, 2007-2008. (Head of Project)
4. S. Ruangrungrote and A. Intasorn, Study of Total Column Atmospheric Aerosol and Nitrogen Optical Depths at Wavelength of 415 nm Using Photoradiometer at Srisamrong District, Sukhothai Province. Sponsored by Faculty of Science, Srinakharinwirot University, 2009-2010. (Head of Project)
5. S. Ruangrungrote and A. Intasorn, Retrieval Algorithm of Spectral Dependence of Aerosol Optical Depth in Climate Studies at Srisamrong District of Sukhothai Province Using Multi-Filter Rotating Shadowband Radiometer (MFR-7). Sponsored by Srinakharinwirot University, 2010-2011. (Co-Researcher for 1st half and Head of Project for 2nd half)
6. S. Ruangrungrote and A. Intasorn, Study of Lidar Ratio Effect on Aerosol and Cloud Backscattering Coefficients in Thailand Using Mie Scattering Lidar. Sponsored by Srinakharinwirot University, 2010-2011. (Head of Project)

Name : Arunee S. Intasorn (Associate Professor)

Present Position : Independent Scholar

Tel. Mobile: 06-0483382 Email : thiparun225@yahoo.com

Residence : 225/145 Soi Sithichai Krungtep-Nontaburi Rd., Bangsue , Bangkok 10800 Thailand

Tel. (66) 0-2586-0307

Education :

B.Sc (Physics) Chulalongkorn University, Bangkok Thailand (1972.)

M.Sc. (Physics) Chulalongkorn University (1976.)

Certificate in Neutron Physics , IAEA , (1987.)

M.S. (Physics) University of Illinois at Chicago, U.S.A. (1992.)

Acadamic Responsibility :

Lecturer Physics Department Khon Kaen University 1972 - 1979

Lecturer Physics Department Srinakharinwirot University 1979 - 1982

Assistance Professor Physics Department Srinakharinwirot University 1982 - 1986

Associate Professor Physics Department Srinakharinwirot University 1986 – September 2010

Fellowships :

International Center of Theoretical Physics (ICTP) Trieste , Italy	Participant in Winter Colleges on Advances in Nuclear Data for Reactor Application	1982 (Jan-Mar)
IAEA Fellowship: Sweden	Training in Nuclear Physics Work	1983 (9 months)
ICTP , Italy	Participant in Workshop on Application in Nuclear Data and Reactor Physics	1986 (Feb-Mar)
IAEA Fellowship: Argonne National Laboratory U.S.A.	Training in Research Work	(1987) (15 months)
Teaching Assistantship: University of Illinois at Chicago , U.S.A.	Graduate Student	1990-1992
ICTP, Italy	Workshop on Nuclear Reaction Data And Nuclear Reactors : Physics , Design and Safety	1998 (Feb-Mar)
Institute of Nuclear Research Debrecen , Hungary	Training in the application of group theoretical methods in Nuclear Structure Studies	1998 (3 weeks)
Hokkaido University, Sapporo Japan	Theoretical Nuclear Physics Visitor in Cluster-Cluster Interaction	1999 (3 weeks)
TASEAP Fellowship: University of New South Wales, Australia	Training in Materials Science	2000 (March-May)
Maiori, Italy	The 7th International Spring Seminar on Nuclear Physics	2001 (27-31 May)
Paris, France	International Conference on Theoretical Physics	2002 (22-27 July)
CRN, Ministry of University Affairs,	XIX Congress and General Assembly of the International	2002

Thailand: IUCr,Geneva Switzerland	Union of Crystallography	(6-15 August)

Experience :

Teaching : General Physics
Mathematics for Physicists
Quantum Mechanics
Nuclear Physics
Waves
Advanced Physics Laboratory
Basic Physics Laboratory
X-ray Crystallography

Research : Gamma-Rays Spectroscopy
Neutron-Activation Analysis
Threshold-Detector Technique
Monte Carlo Calculation
Theoretical Nuclear Physics:
Investigation of Nuclear Clusterization and Fission
X-rays Fluorescence Analysis
X-ray Diffraction Analysis
Spectral Analysis
Geophysics (Atmospheric Science)

Administrative responsibilities :

Head of the Physics Department 1995 – 2000
Deputy Dean of Academic Affairs 2001 - 2005

Affilliation to academic Societies :

Member of Thai Institute of Physics.
Member of Nuclear Society of Thailand.
Member of Professional & Organizational Development Network of Thailand Higher Education (Thai COD Network)

Publication :

Books in Thai language :

1. Arunee Sangariyavanish, Introduction to Quantum Mechanics..
2. Arunee Sangariyavanish, Nuclear Physics.
3. Arunee Sangariyavanish, Quantum Mechanics.
4. Arunee Sangariyavanish, Mathematics for Physicists.
5. Arunee Intasorn, Nuclear Technology.

Scientific journals:

1. A.Sangariyavanish, *THE DETERMINATION OF LOW CONCENTRATIONS OF URANIUM IN COAL FLY ASH BY ITNAA*, Srinakharinwirot University Science Journal, Vol. 1, No.2, Dec. 1985, p.98-102.

2. B. Ekstrom, B. Fogelberg, P.Hoff, E.Lund and A. Sangariyavanish, *DECAY PROPERTIES OF $^{75-80}$Zn AND Q_β - VALUE OF NEUTRON-RICH Zn AND Ga ISOTOPES*, Physica Scripta, Vol.34, No.6A, December 1986, p.614-623.

3. K. Nittayasutti, A. Intasorn and V. Teeyasoontranont, *MEASUREMENT OF 14 MeV NEUTRON SPECTRUM WITH THRESHOLD DECTECTORS*, Srinakharinwirot University Science Journal, Vol. 3, No.2, Dec. 1987, p.115-121.

4. A. Udomporn, A. Sangariyavanich and A. Intasorn , *QUANTITATIVE ANALYSIS OF TETRAGONAL PHASE IN BARIUM ZIRCONIA BY X-RAY DIFFRACTION*, Srinakharinwirot University Science Journal, Vol. 13,No.1, Jan. 1997, p.10-16.

5. A. Intasorn, *THE SEMIMICROSCOPIC ALGEBRAIC CLUSTER MODEL OF ATOMIC NUCLEI* , Srinakharinwirot University Science Journal, Vol.15, No.1, 1999, p.55.

6. A. Intasorn, N. Witit-anan and M. Haengwattana, *COPPER THIN FILM THICKNESS MEASUREMENT USING X-RAY DIFFRACTOMETER AND X-RAY FLUORESCENCE SPECTROMETER*, Science International, Pakistan, Vol. 14(4), 2002, p.279.

7. A. Intasorn and M. Haengwattana, *Synthesis of Calibration Standard sets for Quantitative X-ray Fluorescence Analysis in Slag,* J.of KMITL, Vol.13, No.3, 2005, p.39-46.

8. S. Ruangrungrote, E. Erbim and A. Intasorn, *QUANTITATIVE ELEMENTAL ANALYSIS OF SMOKE SAMPLES USING WAVELENGTH DISPERSIVE X-RAY FLUORESCENCE SPECTROMETER*, KMITL Sci. J. Vol. 6, No.1, 2006, p. 106-112.

9. S. Ruangrungrote, A. Intasorn, and A. Chabangbon, OBSERVATION OF TROPOSPHERIC AEROSOL USING MIE SCATTERING LIDAR AT SRISAMRONG, SUKHOTAHI PROVINCE, NU Science Journal, 2007,4(1), p. 25-30.

10. S. Ruangrungrote, A. Intasorn, J. Sindermsuk and M. Attasongkroah, THE FEASIBILITY OF GASPAK ENVELPOE PRODUCTION FOR ANAEROBIC BACTERIA CULTIVATION, Thammasat International Journal of Science and Technology, 2008, Vol.13, No. 3, p. 1-7.

11. A. Intasorn, S. Satthaphon and B. Silskulsuk, DESIGN AND CONSTRUCTION OF A TWO-DIRECTION ROTATIONAL MOTION MEASUREMENT DEVICE, KMITL Science Journal, 2008, Vol.8, No.1, p. 19-23.

12. S. Ruangrungrote and A. Intasorn, PHYSICAL DESCRIPTION OF THE APPARENT COLOR OF GLASS SAMPLES AS AN UNDERGRADUATE PROJECT, KMITL Science Journal, 2008, Vol.8, No.1, p. 51-54.

13. S. Ruangrungrote, A. Intasorn, A. Rungjang and A. Chabangbon, TWO APPROACHES OF TROPOSPHERIC AEROSOL VOLUMN BACKSCATTERING COEFFICIENT DETERMINATION USING MIE SCATTERING LIDAR IN SUKHOTHAI, KMUTT Research and Development J, 2009, Vol.32, No.1, p. 78-87.

14. S. Ruangrungrote, A. Chitchaeng, A. Intasorn and A. Chabangbon, CLEAR SKY FITTING OF MULTIFILTER ROTATING SHADOWBAND RADIOMETER DATA FOR AEROSOL OPTICAL DEPTH DETERMINATIONS, Naresuan University Science Journal, Vol. 6(1), 2009, p. 1-9.

15. S. Ruangrungrote, W. Srisongpleay and A. Intasorn. RETRIEVAL ALGORITHM OF TOTAL ATMOSPHERIC COLUMN NITROGEN CONTENT USING MULTIFILTER ROTATING SHADOWBAND RADIOMETER IN THAILAND, Khon Kaen University Science Journal, Vol. 2(38), 2010, p. 261-270.

16. S. Ruangrungrote, S. Chanthrasre and A. Intasorn. MODELLING OF AEROSOL PARAMETERS RETRIEVAL ALGORITHM BASED ON MIE SCATTERING LIDAR: (APRA), KMITL Sci. Tech. Journal. Vol. 10(1), 2010, p. 9-18.

17. S. Ruangrungrote, P. Jaihom and A. Intasorn. WAVELENGTH DEPENDECE OF AEROSOL OPTICAL DEPTH IN 2003 AT SRI SAMRONG DISTRICT OF SUKHOTHAI PROVINCE IN THALILAND, KMUTT Research and Development J. 33(2), 2011, p. 57-72.

Conference papers :

1. E. Lund, K. Aleklette, B. Fogelberg and A. Sangariyavanish, *TOTAL β-DECAY ENERGIES OF NEUTRON-RICH ZINC ISOTOPES A=75-80*, Proc. AUCO-7 conference Darmstadt, 3-7 September 1984, p.102-111.

2. A. Intasorn, K. Nittayasutti and V. Teeyasoontranont, *MONTE CARLO CALCULATION OF PEAK EFFICIENCIES OF HIGH PURITY GERMANIUM DETECTOR*, Proc. 12th Conference on Science and Technology of Thailand, 20-22 Oct. 1986, p.96-97.

3. M. Hengwattana , S. Kweangsopa and A. Intasorn , *A PROMPT GAMMA-RAY NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS FOR QUANTITATIVE POTASSIUM DETERMINATION*, Proc. 23rd Conference on Science and Techology of Thailand, 1997, p.1046.

4. J. Cseh, G. Levai, A. Intasorn, K. Kato, A. Lepine-szily, M.S. Hussein and R. Lichtenthaler, *CLUSTERS, SYMMETRIES, AND PREDICTIONS*, Proc.7th Int. conf. on Clustering Aspects of Nuclear Structure and Dynamics, Rab, Croatia, 1999, p.89-93.

5. J. Cseh, A. Intasorn and K. Kato, *ON THE SHELL MODEL CONNECTION OF THE CLUSTER MODEL*, Abstract for the meeting of the Japanese Physical Society, Program book p.19, 1999.

6. A. Intasorn, J. Cseh, G. Levai and K.Kato, *ALGEBRAIC DESCRIPTION OF THE CORE-PLUS-ALPHA-PARTICLE CLUSTER STATES OF THE ^{44}Ti NUCLEUS*, Proc. of the 7th International Spring Seminar on Nuclear Physics, Maiori, Italy, 2001, p. 311-317.

7. A. Intasorn, N. Witit-anun, M. Haengwattana and C. Thawornthira, *THE FEASIBILITY SURVEY OF Cu THIN FILM THICKNESS MEASUREMENT BY X-RAY DIFFRACTION ANALYSIS*, Proc. 27th Conference on Science and Techology of Thailand, 2001, p. 297.

8. A. Intasorn, W. Sunghirun and M. Haeangwattana, *QUANTITATIVE ANALYSIS OF TRACE ELEMENTS IN SOIL USING WAVELENGTH-DISPERSIVE X-RAY FLUORESCENCE SPECTROMETER,* Proc. 40th Kasetsart University Annual Conference, Thailand, 2002, p.236-241.

9. S. Ruangrungrote, A. Intasorn, S. Taweeta, M. Hengwattana, *THE STUDY OF QUANTITATIVE X-RAY FLUORESCENCE ANALYSIS UNDER THE INFLUENCE OF FRACTION BINDER IN ZIRCON PELLETS*, Proc. 30th Congress on Science and Technology of Thailand, 2004, p. 148.

10. S. Ruangrungrote, A. Intasorn, and S. Songsom, THE WAVELENGTH DISPERSIVE X-RAY FLUORESCENCE ANALYSIS IN THICK EMULSION PAINT FILM SPECIMENS, Proc. 30th Congress on Science and Technology of Thailand, 2004, p. 150.

11. W. Keankeo, T. Chuaytukpuan, and A. Intasorn, THE IDENTIFICATION ON THE COMPONENTS OF CLAY MINERALS IN CLAY SAMPLES UTILIZED FOR CONVENTIONAL CERAMICS WORKS BY X-RAY DIFFRACTION TECHNIQUE, Proc. 30th Congress on Science and Technology of Thailand, 2004, p. 165.

12. S. Ruangrungrote, A. Chabangbon and A. Intasorn, TROPOSPHERE ATMOSPHERIC OBSERVATION BY MIE SCATTERING LIDAR AT SRISAMRONG, SUKHOTHAI PROVINCE, Proc. 32nd Congress on Science and Technology of Thailand, 2006, p. 311.

13. S. Ruangrungrote and A. Intasorn, PROBLEM-BASED LEARNING FOR GRADUATE STUDENTS IN SCIENCE EDUCATION PROGRAM, ICASE Asian Symposium 2007, Thailand, p.106.

14. S. Ruangrungrote and A. Intasorn, EXPERIMENTAL DESIGN OF PROJECT TASK FOR UNDERGRADUATE STUDENTS TO ELUCIDATE THEIR CONCEPTUAL PHYSICS KNOWLEDGE, ICASE Asian Symposium 2007, Thailand, p.112.

15. S. Ruangrungrote, A. Intasorn and A. Chabangbon, RETRIEVAL OF INSTANTANEOUS AEROSOL OPTICAL DEPTHS FROM MFR-7 AND MIE LADAR DATASET AT SUKHOTHAI PROVINCE, THAILAND, Proc. of International Symposia on Geoscience Resources and Environments of Asian Terranes, Bangkok, Thailand, 2008, p. 536.

16. S. Ruangrungrote, A. Intasorn and A. Chabangbon, TROPOSPHERIC AEROSOL VOLUMN BACKSCATTERING COEFFICIENTS DETERMINATION USING MIE LIDAR AT PHIMAI DISTRICT, THAILAND, Proc. of International Symposia on Geoscience Resources and Environments of Asian Terranes, Bangkok, Thailand, 2008, p. 543.

Reports:

1. A. Intasorn, V. Teeyasoontranont and S. Kwaengsobha, *MULTIELEMENTAL ANALYSIS OF CHEMICAL FERTILIZERS USING NON-DESTRUCTIVE 14 MeV NEUTRON ACTIVATIONS*, Under Thai National Research Council Programme (1987).

2. L.R. Greenwood and A. Intasorn, *NEUTRON SPECTRAL AND ANGULAR DISTRIBUTION MEASUREMENT FOR 113 AND 256 MeV PROTONS ON RANGE-THICK A1 AND U-238 TARGETS USING THE FOIL ACTIVATION TECHNIQUE, ANL/NPBTS-TR-023* Engineering Physics Division, Argonne Nat.Lab, Argonne, IL.60439. Under Contract W-31-109-Eng-39. Neutron Particle Beam Test Stand Program (July 1989).

3. A. Intasorn, *INVESTIGATION OF NUCLEAR CLUSTERIZATION AND FISSION*, Under Srinakharinwirot University Research Program (2001).

4. A. Intasorn and M. Haengwattana, *Cu THIN FILM THICKNESS MEASUREMENT BY X-RAY DIFFRACTION TECHNIQUE*, Under Srinakharinwirot University Research Program (2001).

5. A. Intasorn and M. Haengwattana, *STUDY OF MATRIX EFFECT ON QUANTITATIVE X-RAY FLUORESCENCE ANALYSIS IN SLAG*, Under The National Metal and Materials Technology Center (MTEC) Research Program (2002).

6. A. Intasorn , T. Sukdee, S. Chainakule, S. Wongbunnuk and S. Ruangrungrote, *LEARNING-PROCESS-EFFECTIVENESS OF MASTER OF EDUCATION PROGRAM IN SCIENCE EDUCATION (PROGRAM B)* Under Faculty of Science, Srinakharinwirot University Research Program (2006).

7. S. Ruangrungrote and A Intasorn, *MIE SCATTERING LIDAR FOR THE STUDY OF AEROSOLS VERTICAL PROFILES IN THAILAND.* Under Srinakharinwirot University Research Program (2008).

8. S. Ruangrungrote and A. Intasorn, *STUDY OF TOTAL COLUMN ATMOSPHERIC AEROSOL AND NITROGEN OPTICAL DEPTH AT WAVELENGTH OF 415 NM USING PHOTORADIOMETER AT SRISAMRONG DISTRICT, SUKHOTHAI PROVINCE*. Under Faculty of Science, Srinakharinwirot University Research Program (2009-2010).

9. S. Ruangrungrote and A. Intasorn, *RETRIEVAL ALGORITHM OF SPECTRAL DEPENDENCE OF AEROSOL OPTICAL DEPTH IN CLIMATE STUDIES AT SRISAMRONG DISTRICT OF SUKHOTHAI PROVINCE USING MULTI-FILTER ROTATING SHADOWBAND RADIOMETER (MFR-7).* Under Srinakharinwirot University Research Program (2010-2011).

10. S. Ruangrungrote and A. Intasorn, *STUDY OF LIDAR RATIO EFFECT ON AEROSOL AND CLOUD BACKSCATTERING COEFFICIENTS IN THAILAND.* Under Srinakharinwirot University Research Program (2010-2011).