

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ ที่สถานี
อุตุนิยมวิทยาจังหวัดเชียงใหม่กับค่าปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า
2.5 ไมครอน (PM2.5)

The study of Correlation between Air Stability Indices from
Chiangmai Weather Station and Fine Particulate Matter (PM2.5)
over the Area

กลุ่มวิจัยและพัฒนาสารสนเทศอุตุนิยมวิทยา
กองบริการดิจิทัลอุตุนิยมวิทยา

Meteorological Information Research and
Development Sub-Division

Meteorological Digital Services Division

มีนาคม พ.ศ. 2565

March 2022

บทคัดย่อ

ปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM 2.5) นั้นถือเป็นปัญหาเรื้อรังของประเทศไทย และมีแนวโน้มที่จะรุนแรงมากขึ้นตามการขยายตัวทางเศรษฐกิจ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนรวมถึงรายได้จากการท่องเที่ยวด้วยเช่นกัน งานวิจัยนี้ได้ศึกษาค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศต่าง ๆ เพื่อดูความสัมพันธ์ที่มีต่อค่าฝุ่นละอองในอากาศ ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ ผลการศึกษาพบว่าค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศส่วนใหญ่ มีความสัมพันธ์เชิงลบหรือแปรผกผันกับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) โดยที่ค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ ได้แก่ Convective Inhibition, CINS using virtual temperature, Mean mixed layer mixing ratio, Pres [hPa] of the Lifted Condensation Level, Precipitable water [mm] for entire sounding และ Temp [K] of the Lifted Condensation Level มีความสัมพันธ์กันอย่างมากต่อปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน และทุกค่ามีความสัมพันธ์แบบแปรผกผัน อย่างไรก็ตามค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศจำพวก Equilibrium Level, Equilibrium Level using virtual temperature, Lifted index, LIFT computed using virtual temperature, Showalter index, Vertical totals index นั้น มีความสัมพันธ์เชิงบวก หรือแปรผันตรงกับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) แต่ก็ให้ค่าความสัมพันธ์ที่น้อยกว่า นอกจากนี้ค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศที่มีความสัมพันธ์น้อยที่สุด พบว่าคือ Mean mixed layer potential temperature ซึ่งผลการศึกษาจะเป็นประโยชน์ในการสร้างแบบจำลองเกี่ยวกับการประมาณค่าปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) ต่อไป

Abstract

The problem of fine dust particles (PM 2.5) is considered a chronic problem in Thailand and tends to be more severe as the economic expansion. It has a profound impact on public health and tourism income as well. In this research, various air stability indices were studied to see their relationship with airborne particulate matter smaller than 2.5 microns (PM 2.5) in Chiang Mai Province. The results of the study found that most of the air stability indices (17 out of 24) has inverse relationship with the fine particles. Air stability indices: Convective Inhibition, CINS using virtual temperature, Mean mixed layer mixing ratio, Pres [hPa] of the Lifted. Condensation Level, Precipitable water [mm] for entire sounding, and Temp [K] of the Lifted Condensation Level were strongly correlated to the concentration of PM 2.5, and all were inversely correlated. However, the air stability indexes including Equilibrium Level, Equilibrium Level using virtual temperature, Lifted index, LIFT computed using virtual temperature, Showalter index, and Vertical totals index were directly proportional to the amount of PM2.5 but all provided less correlation value. In addition, the least correlated air stability indices was Mean mixed layer potential temperature. The results would be benefit for PM 2.5 forecast in further.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	2
Abstract.....	3
สารบัญ.....	4
สารบัญตาราง.....	7
สารบัญรูป.....	8
บทที่ 1.....	9
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	9
1.2 วัตถุประสงค์.....	10
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	10
1.4 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง (Literature review).....	10
1.5 ทฤษฎี และ/หรือแนวความคิดที่นำมาใช้ในการศึกษา.....	12
1.5.1 เสถียรภาพอากาศ.....	12
1.5.2 การจำแนกลักษณะเสถียรภาพของอากาศ.....	14
1.5.3 ดัชนีเสถียรภาพอากาศ.....	18
1.5.4 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation).....	22
1.6 วิธีดำเนินการศึกษา.....	25
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	27
บทที่ 2.....	28
2.1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา.....	28
2.2 ข้อมูลที่ใช้.....	29
2.2.1 ข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน.....	29

2.2.2 ข้อมูลดัชนีเสถียรภาพอากาศ ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่(48327).....	30
2.3 วิธีดำเนินการศึกษา.....	31
2.3.1 รวบรวมข้อมูล	31
2.3.2 การสำรวจและการทำความสะอาดข้อมูล	31
2.3.3 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์	31
2.3.4 วิจัยรณัผลและสรุปล.....	31
บทที่ 3	32
3.1 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 35T และ ค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศสถานีตรวจอากาศเชียงใหม่.....	32
3.2 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 36T และค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศสถานีตรวจอากาศเชียงใหม่.....	36
3.3 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 40T และค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศสถานีตรวจอากาศเชียงใหม่.....	40
3.4 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 75T และค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศสถานีตรวจอากาศเชียงใหม่.....	45
3.5 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 76T และค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศสถานีตรวจอากาศเชียงใหม่.....	49
บทที่ 4	53
4.1 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 35T และค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศสถานีตรวจอากาศเชียงใหม่.....	53
4.2 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 36T และค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศสถานีตรวจอากาศเชียงใหม่.....	53
4.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 40T และค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศสถานีตรวจอากาศเชียงใหม่.....	54

4.4 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 75T และค่าดัชนี เสถียรภาพอากาศสถานีตรวจอากาศเชียงใหม่.....	55
4.5 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 76T และค่าดัชนี เสถียรภาพอากาศ	55
บทที่ 5.....	57
บรรณานุกรม.....	58
ภาคผนวก.....	60

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1 รายละเอียดสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ กรมควบคุมมลพิษ ทั้ง 4 สถานี	29
ตารางที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศสถานี 48327 กับค่าฝุ่นละออง PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 35T ศาลากลางเมือง จังหวัดเชียงใหม่	35
ตารางที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีการหยั่งอากาศสถานี 48327 กับค่าฝุ่นละออง PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 36T โรงเรียนยุพราชวิทยาลัย จังหวัดเชียงใหม่	39
ตารางที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีการหยั่งอากาศสถานี 48327 กับค่าฝุ่นละออง PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 40T สำนักงานการประปาส่วนภูมิภาคแม่เกาะ จังหวัดลำปาง	44
ตารางที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีการหยั่งอากาศสถานี 48327 กับค่าฝุ่นละออง PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 75T โรงพยาบาลเฉลิมพระเกียรติ จ.น่าน	48
ตารางที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีการหยั่งอากาศสถานี 48327 กับค่าฝุ่นละออง PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 76T ศูนย์การศึกษานอกโรงเรียน จ.ตาก	52

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 1 แสดงผังการดำเนินการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ ที่สถานี อุตุนิยมวิทยาจังหวัดเชียงใหม่กับค่าปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5).....	26
รูปที่ 2 แสดงตำแหน่งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ กรมควบคุมมลพิษ ทั้ง 5 สถานี และตำแหน่ง สถานีตรวจอากาศชั้นบนสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่ (48327).....	28
รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 35T ศาลากลางเมือง จังหวัดเชียงใหม่ และค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ.....	35
รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 36T โรงเรียนยุพราช วิทยาลัย จังหวัดเชียงใหม่ และค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ	39
รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 40T สำนักงานการ ประปาส่วนภูมิภาคแม่เมาะ จังหวัดลำปาง และค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ.....	43
รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 75T โรงพยาบาลเฉลิม พระเกียรติ จ.น่าน และค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ.....	47
รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 76T ศูนย์การศึกษานอก โรงเรียน จ.ตาก และค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ.....	51

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัญหาฝุ่นควันเป็นปัญหาเรื้อรังที่เกิดขึ้นเป็นประจำทุกปี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณภาคเหนือของประเทศไทยและจังหวัดกรุงเทพมหานคร ซึ่งภาพรวมแนวโน้มความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM 2.5) ในประเทศไทยสูงขึ้นตามการขยายตัวทางเศรษฐกิจ จากข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษระหว่างปี พ.ศ. 2557 ถึง 2561 ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุด อยู่ในช่วง 116 ถึง 266 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานองค์การอนามัยโลกกำหนดไว้ที่ 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขณะที่ค่าเฉลี่ยรายปีทั้งประเทศอยู่ที่ 22-29 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สูงกว่าค่ามาตรฐานองค์การอนามัยโลก ซึ่งกำหนดไว้ที่ 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และจากข้อมูลสถิติโลกในปี พ.ศ. 2562 ประเทศไทยมีฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM 2.5) สูงมากเป็นลำดับที่ 28 ของโลก และอยู่ในลำดับที่ 4 ของอาเซียน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 24.3 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ปัญหาฝุ่นควันจึงนับว่าเป็นปัญหาใหญ่ และส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชากร ดังจะเห็นได้จากข้อมูลสถานการณ์สุขภาพคนไทยในรอบ 10 ปี พบว่า อัตราการเพิ่มขึ้นของโรคมะเร็งปอดสูงขึ้นมากใน ขณะที่อัตราการสูบบุหรี่ลดลง ซึ่งปัจจัยหนึ่งมาจากปัญหามลพิษทางอากาศและฝุ่น PM 2.5 ซึ่งศูนย์วิจัยและพัฒนาการป้องกันและจัดการภัยพิบัติ คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ (NIDA) พบว่า PM 2.5 จะสัมพันธ์กับโรคมะเร็งทางเดินหายใจ โรคมะเร็งปอด โรคมะเร็งหลอดเลือดในสมอง โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง โรคหัวใจขาดเลือด โรคติดเชื้อเฉียบพลันระบบหายใจส่วนล่าง ยังมีข้อมูลการศึกษาใหม่ๆ ที่ระบุว่า PM 2.5 สัมพันธ์กับโรคเบาหวาน โรคตับ โรคไต และโรคอัลไซเมอร์ อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะผู้หญิงและเด็กจะมีความอ่อนไหวต่อมลพิษทางอากาศมากกว่ากลุ่มอื่น ทว่าทั้งประเทศกำลังเผชิญกับปัญหานี้ นอกจากนี้ PM 2.5 สร้างความเสียหายทางเศรษฐกิจถึงกว่า 1,500 ล้าน หรืออาจจะสูงถึง 3 เปอร์เซ็นต์ของ GDP ดังนั้นค่าผลกระทบอันเนื่องมาจาก PM 2.5 จึงไม่ได้มีเพียงค่าใช้จ่ายด้านสุขภาพที่เราต้องเสียไป แต่รวมถึงความเสียโอกาสจากรายได้การท่องเที่ยวที่ลดลง และภาพลักษณ์ของประเทศด้วย

กรมอุตุนิยมวิทยาในฐานะของผู้ให้บริการคำพยากรณ์ด้านสภาพอากาศ ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญในการศึกษาหาตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา ที่อาจมีความสัมพันธ์ต่อค่าฝุ่นละอองในอากาศในการศึกษานี้จะเลือกพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ซึ่งมีความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจและการท่องเที่ยว โดยนำมาศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศที่สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดเชียงใหม่

กับค่าปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) แล้วจึงนำความสัมพันธ์เหล่านั้นมาทำการคาดการณ์ค่าฝุ่นละอองในอากาศให้ถูกต้องแม่นยำ เพื่อให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องนำไปเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์ ประชาชนสามารถเตรียมตัวรับมือกับสภาพอากาศในแต่ละวันได้อย่างเหมาะสมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลดัชนีเสถียรภาพอากาศ ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่ (48327) กรมอุตุนิยมวิทยากับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศจากภาคพื้นดิน ของกรมควบคุมมลพิษ ในพื้นที่ภาคเหนือ

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

3.1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา ครอบคลุมสถานีตรวจวัดค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) ของกรมควบคุมมลพิษ ในภาคเหนือ ประกอบด้วย 5 สถานีใน 4 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดลำปาง จังหวัดน่าน และจังหวัดตาก

3.2 ศึกษาสถานการณ์ฝุ่นละอองช่วงปี พ.ศ. 2557 - 2562

3.4 ข้อมูลดัชนีเสถียรภาพอากาศ ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่ (48327) กรมอุตุนิยมวิทยา

3.5 หาความสัมพันธ์ดัชนีเสถียรภาพอากาศชั้นบนสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่ (48327) กับค่าปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 ในพื้นที่ภาคเหนือ รายวัน และเวลา 07.00น.

1.4 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง (Literature review)

- Zhen Liu และคณะ ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของหยาดน้ำฟ้าและลมที่มีผลต่อค่าฝุ่น PM2.5 และ PM10 ในชั้นบรรยากาศ จากการศึกษาพบว่าน้ำฝนมีผลต่อการลดลงของปริมาณฝุ่น PM2.5 และ PM10 โดยที่ PM10 จะได้รับผลกระทบที่ชัดเจนกว่า และปริมาณฝนในระดับปานกลางถึงฝนอ่อนในฤดูหนาวสามารถเพิ่มความเข้มข้นของมลพิษในอากาศได้ งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าค่าความเข้มข้นฝุ่นตั้งต้นของ PM2.5 ก่อนการเกิดหยาดน้ำฟ้า ค่าความรุนแรงของหยาดน้ำฟ้า และความยาวนานของระยะเวลาที่เกิดหยาดน้ำฟ้า จะส่งผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าฝุ่น PM2.5 หลังเกิดหยาดน้ำฟ้า ในขณะที่ค่าความเข้มข้น PM10 ก่อนการเกิดหยาดน้ำฟ้า มีความสัมพันธ์ต่อการลดลงของค่าฝุ่น PM10 หลังเกิดหยาดน้ำฟ้าอย่างชัดเจน กล่าวคือ ยิ่งค่าความเข้มข้นตั้งต้นของ PM10 มากเท่าไร ปริมาณฝุ่นหลังที่ลดลงหลังการเกิดหยาดน้ำฟ้าก็จะมากขึ้นเท่านั้น สำหรับการศึกษาเรื่องลม พบว่าค่าฝุ่นในระดับปานกลางถึงสูงมักจะเกิดในช่วงที่มีลมตะวันออกเฉียงเหนือ ลมตะวันตกเฉียงใต้ และลมตะวันตก โดยยิ่งลมมาจากทิศตะวันตกมากเท่าไร ค่ามลพิษก็จะสูงมากขึ้นเท่านั้น แต่เมื่อมีลมเหนือ

หรือลมตะวันออกเฉียงเหนือพัดผ่าน ค่าความเข้มข้นทั้ง PM2.5 และ PM10 จะลดลง นอกจากนั้นยังพบว่ากรณีที่มีลมมีความเร็ว 2 เมตรต่อวินาที ค่าความเข้มข้นจะลดลง แต่ถ้าลมมีความเร็ว 4 เมตรต่อวินาที ค่าความเข้มข้นจะเพิ่มขึ้นอีกด้วย

- งานวิจัยของ **Qianqian Huang และคณะ** ชี้ให้เห็นว่าในอดีตมีการศึกษา Air Stagnation Index (ASI) ซึ่งเป็นตัววัดทางอุตุนิยมวิทยาที่แสดงถึงความสามารถของบรรยากาศ ในการลดค่ามลพิษขนาดเล็กได้ อย่างไรก็ตามเกณฑ์นี้ไม่เหมาะสมที่นักจะใช้วิเคราะห์พื้นที่ประเทศจีน ดังนั้นจึงมีการเสนอเกณฑ์ใหม่คือ ASI-Boundary-layer air Stagnation Index (BSI) แทน และพบว่าการกระจายเชิงพื้นที่ของ BSI นั้นคล้ายคลึงกับ ASI อย่างไรก็ตามเนื่องจากวัฏจักรตามฤดูกาลของ BSI มีการเปลี่ยนแปลง และเมื่อเทียบกับตาราง BSI พบว่าในฤดูหนาวจะมีจำนวนวันที่มลพิษทางอากาศน้อยมากที่สุด และในฤดูร้อนจะมีจำนวนวันที่มลพิษทางอากาศน้อยต่ำที่สุด ซึ่งก็สอดคล้องกับค่าดัชนีคุณภาพอากาศ (API) และเมื่อทำการศึกษาค่าความสอดคล้องระหว่าง BSI กับค่าความเข้มข้นฝุ่น PM2.5 ผลการศึกษาก็ชี้ให้เห็นว่าค่า BSI สอดคล้องกันอย่างมากกับค่าฝุ่น PM 2.5 แบบวันต่อวันอีกด้วย

- งานวิจัยของ **Jianhua Wang และ Susumu Ogawa** ระบุว่าปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM2.5) มีผลกระทบต่อการมองเห็น สุขภาพของมนุษย์ และสภาพอากาศโลก มีปัจจัยสามประการที่ส่งผลกระทบต่อความเข้มข้นของมวล PM2.5 ได้แก่ แหล่งกำเนิดมลพิษภายในประเทศ แหล่งกำเนิดมลพิษภายนอกประเทศ และสภาพอากาศ ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM2.5 และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาแสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาร่วมกับอุณหภูมิ ค่า correlation มีค่าเป็นลบ และเมื่อพิจารณาร่วมกับปริมาณน้ำฝน มีค่า correlation เป็นบวกกับ PM2.5 และมีเกณฑ์ในการวิเคราะห์ค่า correlation สำหรับความชื้นและความเร็วลมเทียบกับ PM2.5 โดยพบว่าค่า correlation จะเป็นบวกหรือลบนั้นขึ้นอยู่กับค่าตัวแปรอุตุนิยมวิทยา

- **Lili Wang และคณะ** ได้ทำการศึกษามลพิษทางอากาศในประเทศจีน โดยวิเคราะห์ข้อมูล PM2.5, AOD และข้อมูลการมองเห็นในระยะไกล ร่วมกับปัจจัยด้านสภาพอากาศและตัวแปรอุตุนิยมวิทยาต่าง ๆ รวมถึง boundary-layer ด้วย ข้อมูลทั้งหมดนี้ถูกนำมาใช้เพื่อหาสาเหตุของเหตุการณ์มลพิษที่มีหมอกควันหนาแน่น ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า ลมพื้นผิวอ่อนอย่างผิดปกติ ค่าความชื้นที่สูง และการปล่อยมลพิษเพิ่มขึ้น เป็นสาเหตุของเหตุการณ์มลภาวะจากหมอกควันหนาแน่น ในภูมิภาค Beijing-Tianjin-Hebei ในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมา นอกจากนั้นสภาวะชั้นบรรยากาศสตราโทสเฟียร์ที่ร้อนอย่างกะทันหัน (SSW), มรสุมฤดูหนาวในเอเชียตะวันออกเฉียง, ความกดอากาศสูงไซบีเรียที่กำลังอ่อน, ความผิดปกติของลมใต้ในชั้นโทรโพสเฟียร์ตอนล่าง, ลมผิวพื้นกำลังอ่อน และค่าความชื้นที่สูงอย่างผิดปกติ สามารถก่อให้เกิดเหตุการณ์หมอกควันอย่างรุนแรงได้อีกด้วย

- **ศราวุธ ใฝ่บง และ จานนท์ ศรีเกตุ** ศึกษาการคาดการณ์ปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน จากค่าความสูงผสมที่ได้จากแบบจำลองสภาพอากาศ WRF และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงผสมจากแบบจำลองสภาพอากาศ WRF กับปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน โดยใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดอากาศของกรมควบคุมมลพิษ ผลการศึกษาค่าความสูงผสมที่ได้จากการคาดการณ์โดยแบบจำลอง WRF ที่สัมพันธ์กับค่าปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน พบว่าช่วงเวลาที่มีความสัมพันธ์สูงสุด อยู่ที่เวลา 9.00น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มียค่าความสูงผสมน้อยที่สุด และมีการผกผันกับปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน สูงที่สุด

1.5 ทฤษฎี และ/หรือแนวความคิดที่นำมาใช้ในการศึกษา

1.5.1 เสถียรภาพอากาศ

เมื่อเราพูดถึงเสถียรภาพของบรรยากาศ เรากำลังอ้างอิงถึงลักษณะของสภาพสมดุล โดยอากาศซึ่งอยู่ในสมดุลเสถียรนั้น ไม่ว่ามันจะถูกยกขึ้นหรือกดให้จมลงมันก็จะกลับคืนเข้าสู่แห่งเดิมของมันเสมอ มันคือมันจะมีการต่อต้านที่จะยกตัวหรือจมตัว ส่วนอากาศซึ่งอยู่ในสถานะสมดุลแบบไม่เสถียร เพียงแค่มีแรงผลักดันน้อยมันก็จะเคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งดั้งเดิมของมัน ซึ่งลักษณะของอากาศแบบนี้จะเอื้อต่อการเกิดการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวตั้ง

ในการศึกษาถึงพฤติกรรมของอากาศที่ลอยตัวขึ้นและจมตัวลงนั้น สิ่งที่เราต้องทำอย่างแรกก็คือการจินตนาการถึงการนำอากาศนั้นมาห่อหุ้มเป็นก้อนด้วยแผ่นยางยืดบาง ๆ โดยอากาศปริมาตรเล็ก ๆ นี้เราจะอ้างอิงมันว่า เป็นก้อนอากาศ โดยถึงแม้ว่าเจ้าก้อนอากาศนี้จะขยายตัวและหดตัวได้อย่างอิสระ แต่มันจะไม่แตก แล้วจะไม่ไปรวมตัวกับก้อนอากาศอื่น และในขณะเดียวกัน อากาศภายนอกหรือความร้อนจากด้านนอกก็จะไม่สามารถเข้ามาผสมกับอากาศด้านในก้อนอากาศนี้ได้ พื้นที่ว่างที่ถูกยึดครองโดยโมเลกุลอากาศในก้อนอากาศนี้เราจะนิยามมันว่าความหนาแน่นของอากาศ ส่วนความเร็วเฉลี่ยของโมเลกุลอากาศนั้นก็เกี่ยวข้องโดยตรงกับอุณหภูมิของอากาศ ส่วนการชนกันของโมเลกุลอากาศกับผนังของก้อนอากาศนั้นเราจะนิยามว่าเป็นแรงดันอากาศภายใน

ณ ที่พื้นผิวของโลก ก้อนอากาศนี้จะมีอุณหภูมิและความกดอากาศเท่ากับอากาศที่ล้อมรอบมัน และหากเรายกก้อนอากาศนี้ขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศด้านบน เราจะพบว่าความกดอากาศจะลดลงตามความสูง เมื่อความกดอากาศรอบนอกของก้อนอากาศนี้ลดลงก็จะเกิดปรากฏการณ์ที่โมเลกุลด้านในก้อนอากาศ ดันผนังบาง ๆ ให้ขยายออกไปด้านนอก ทำให้ก้อนอากาศมีขนาดใหญ่ขึ้น และเนื่องจากในกรณีนี้ไม่มีแหล่งพลังงานจากที่อื่นมาเกี่ยวข้อง การขยายขนาดของก้อนอากาศนั้นจึงต้องใช้พลังงานของโมเลกุลอากาศเอง ซึ่งจะทำให้ความเร็วเฉลี่ยของโมเลกุลอากาศในก้อนอากาศลดลง ซึ่งส่งผลต่อเนื่องให้อุณหภูมิของก้อนอากาศลดลงไปด้วย

ถ้าหากว่าก้อนอากาศนั้นตกลงมาที่พื้นผิวของโลกอีกครั้งมันจะกลับมาสู่บริเวณซึ่งความกดอากาศรอบนอกนั้นมีความสูงกว่าอากาศด้านใน ความกดอากาศที่มีความสูงก็จะบีบอัดก้อนอากาศให้กลับเข้าสู่ปริมาตรดั้งเดิมของมัน ซึ่งการบีบอัดนี้จะทำให้ความเร็วเฉลี่ยของโมเลกุลอากาศนั้นมีความเร็วเพิ่มขึ้น และทำให้อุณหภูมิมีความสูงขึ้นไปด้วย ดังนั้นเราจึงกล่าวได้ว่า ก้อนอากาศที่ยกตัวขึ้นจะมีการขยายตัวและมีอุณหภูมิลดลง ส่วนตอนอากาศที่จมตัวลงนั้น จะมีการบีบอัดตัวและอุณหภูมิอุ่นขึ้น

ถ้าหากว่าก้อนอากาศนั้นมีการขยายตัวและเย็นลงหรือมีการบีบอัดตัวและอุ่นขึ้น โดยที่ไม่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนใด ๆ กับสิ่งแวดล้อมเลย เราจะเรียกลักษณะแบบนี้ว่ากระบวนการอะเดียแบติก (adiabatic process) โดยถ้าหากว่าอากาศในก้อนอากาศนั้นยังไม่อิ่มตัว (มีความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า 100%) อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบอะเดียแบติกจะเป็นค่าคงที่เสมอ โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมินี้จะอยู่ที่ประมาณ 10 องศาเซลเซียสต่อการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงทุก 1000 เมตร (หรือ 5.5 องศาฟาเรนไฮต์ต่อการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงทุก 1,000 ฟุต) ซึ่งเราจะเรียกมันว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงอะเดียแบติกแบบแห้ง (dry adiabatic rate)

เราทราบว่าเมื่ออากาศยกตัวขึ้นอากาศภายในก้อนอากาศจะเย็นตัวลง ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และถ้าหากอุณหภูมิภายในก้อนอากาศลดลงจนถึงจุดน้ำค้างแล้ว ค่าความชื้นสัมพัทธ์จะกลายเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ การยกตัวต่อไปของอากาศนั้นก็ส่งผลให้เกิดการกลั่นตัวขึ้นและทำให้เมฆก่อตัวขึ้นมาซึ่งใน กระบวนการกลั่นตัวนั้นจะมีการคายความร้อนออกมาด้วยความร้อนที่ถูกถ่ายเทจากกระบวนการกลั่นตัวนี้จะไปหักล้างกับอัตราการเย็นตัวเนื่องจากการขยายตัว ส่งผลให้อากาศ ไม่ได้เย็นตัวลงด้วยอัตราการเย็นตัวแบบ อะเดียแบติกแบบแห้งอีกต่อไป แต่จะเย็นตัวด้วยอัตราที่น้อยลงซึ่งถูกเรียกว่าอัตราการเย็นตัวชนิดอะเดียแบติกแบบเปียก (moist adiabatic rate) แล้วถ้าหากว่าก้อนอากาศอิ่มตัวซึ่งมีหยดน้ำบรรจุอยู่ภายในได้จมตัวลงด้านล่างอากาศจะถูกบีบอัดและอุ่นขึ้นส่งผลให้หยดน้ำนั้นระเหยกลายเป็นไอ ซึ่งกระบวนการกลายเป็นไอนี้จะต้องดึงความร้อนไปใช้ ทำให้อุณหภูมิของอากาศที่จมตัวลงนั้นเพิ่มขึ้นช้าลงกว่ากระบวนการอะเดียแบติกแบบแห้ง เราจึงสามารถสรุปได้ว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของก้อนอากาศที่อากาศภายในอิ่มตัวนั้นเราเรียกว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงชนิดอะเดียแบติกแบบเปียกซึ่งมีอัตราการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงอะเดียแบติกแบบแห้ง

กระบวนการอะเดียแบติกแบบเปียกนี้ จะแตกต่างจากอะเดียแบติกแบบแห้งตรงอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่อความสูงนั้นไม่คงที่ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นภายในเป็นหลัก โดยก้อนอากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิสูงจะสามารถสร้างหยดน้ำได้มากกว่าก้อนอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า การกลั่นตัวเป็นหยดน้ำของอากาศที่อุณหภูมิสูงก็จะส่งผลให้คายความร้อนแฝงออกมาได้มากกว่า นั่นคือสาเหตุที่ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงอะเดียแบติกแบบเปียกนั้นจะน้อยกว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงอะเดียแบติกแบบแห้งมาก ในกรณีที่ก้อนอากาศซึ่งกำลังยกตัวขึ้นนั้นมีอุณหภูมิสูง แต่ค่าทั้งสองจะ

ใกล้เคียงกันถ้าอากาศที่กำลังยกตัวขึ้นนั้นมีอุณหภูมิต่ำมาก ๆ ถึงแม้ว่าค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงอะเดียบาติกแบบเปียกนี้จะแตกต่างกันไป แต่เพื่อทำให้ง่ายต่อการคำนวณและการยกตัวอย่าง เราสามารถใช้ค่าประมาณได้ว่าเฉลี่ยแล้วมันจะอยู่ที่ราว ๆ 6 องศาเซลเซียสต่อการเปลี่ยนระดับความสูง 1000 เมตร (หรือ 3.3 องศาฟาเรนไฮต์ ต่อการเปลี่ยนแปลงความสูง 1000 ฟุต) (เอกสารเผยแพร่ความรู้ Meteorological Today, www.rnd.tmd.go.th)

1.5.2 การจำแนกลักษณะเสถียรภาพของอากาศ

เราสามารถจำแนกแยกแยะเสถียรภาพของอากาศได้ โดยการเปรียบเทียบอุณหภูมิของก้อนอากาศที่กำลังยกตัวขึ้นเทียบกับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม ถ้าหากว่าก้อนอากาศที่กำลังลอยตัวขึ้นนั้นมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม มันจะมีความหนาแน่นมากกว่าสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้มันหนักกว่าและมีแนวโน้มที่จะจมตัวลงกลับเข้าสู่ระดับชั้นเดิมที่มันลอยตัวขึ้นมา

ในกรณีนี้เราจะเรียกว่าอากาศมีเสถียรภาพ เพราะว่ามันมีลักษณะต่อต้านการยกตัวขึ้น แต่ถ้าหากว่าอากาศที่กำลังลอยตัวขึ้นนั้นมีอุณหภูมิสูงกว่าสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้มีความหนาแน่นน้อยกว่าอากาศที่แวดล้อม และมีน้ำหนักที่เบากว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ ก้อนอากาศนี้ก็จะลอยตัวขึ้นไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะถึงระดับชั้นที่มีอุณหภูมิเดียวกันกับสิ่งแวดล้อม นี่คือการยกตัวของอากาศซึ่งไม่มีเสถียรภาพ ดังนั้นในการระบุเสถียรภาพของอากาศโดยจำเป็นจะต้องวัดอุณหภูมิทั้งของก้อนอากาศที่กำลังลอยตัวขึ้นและอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมที่ระดับต่าง ๆ เหนือพื้นโลก (เอกสารเผยแพร่ความรู้ Meteorological Today, www.rnd.tmd.go.th)

1.5.2.1 อากาศที่มีเสถียรภาพ

สมมติว่าเราปล่อยบอลลู่นตรวจอากาศหรือที่เรียกว่า radiosonde ขึ้นไป บอลลู่นตรวจอากาศนั้นได้ส่งข้อมูลของอุณหภูมิมมา (ข้อมูลที่แสดงลักษณะของอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปในแนวตั้งนี้เรียกกันว่า sounding) เราตรวจวัดอุณหภูมิอากาศในแนวตั้งพบว่ามันลดลง 4 องศาเซลเซียสในทุก ๆ ความสูง 1000 เมตร (หรือ 2 องศาฟาเรนไฮต์ต่อความสูง 1000 ฟุต) อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศเทียบกับความสูงที่เปลี่ยนไปเราจะเรียกว่า lapse rate ซึ่งอัตรานี้ก็ คืออัตราของอุณหภูมิอากาศรอบ ๆ ตัวเราที่จะเปลี่ยนไปถ้าหากว่าเราไต่สูงขึ้นไปในชั้นบรรยากาศเรื่อย ๆ เราจึงมักจะอ้างอิงถึงมันในชื่อว่า environmental lapse rate

เมื่อยังก้อนอากาศลอยตัวขึ้นสูงเรื่อย ๆ ความแตกต่างของอุณหภูมิกายในอากาศกับอุณหภูมิกายนอกก็จะยิ่งมากขึ้นเรื่อย ๆ และถึงแม้จะให้ก้อนอากาศนั้นเริ่มต้น ด้วยค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่อิ่มตัวและลอยตัวขึ้น ไปอัตราของอะเดียบาติกแบบเปียก ซึ่งมีค่า 6 องศาเซลเซียสต่อความสูง 1000 เมตรก็ตาม อากาศภายในก้อนอากาศก็จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศภายนอกเสมอในทุก ๆ ระดับชั้น ซึ่งทั้งสองกรณีนี้ถ้าอากาศที่กำลังยกตัวขึ้นจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าและมีน้ำหนักที่มากกว่า

อากาศที่ล้อมรอบอยู่ข้างนอกเสมอ ซึ่งลักษณะแบบนี้เราจะเรียกว่าอากาศมีเสถียรภาพอย่างสมบูรณ์ (absolutely stable) เราจึงสรุปได้ว่าอากาศนั้นจะมีเสถียรภาพอย่างสมบูรณ์เสมอ เมื่ออากาศภายนอกมีค่าอัตรา lapse rate น้อยกว่าค่าอัตราอะเดียบาติกแบบเปียก

เมื่ออากาศอยู่ในบรรยากาศที่มีเสถียรภาพอย่างสมบูรณ์ มันจะต่อต้านการยกตัวขึ้นในแนวตั้ง และถ้าหากว่ามีแรงผลักดันที่จะทำให้มันยกตัวขึ้น มันก็จะมีแนวโน้มที่จะแผ่ออกไปในแนวราบมากกว่า

บรรยากาศจะมีเสถียรภาพได้เมื่อค่า environmental lapse rate หรือค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อความสูงของสิ่งแวดล้อมมีค่าน้อย ๆ นั่นคือความแตกต่างของอุณหภูมิแวดล้อมระหว่างอากาศที่ผิวพื้นกับอากาศที่ระดับสูงขึ้นมีค่าน้อยนั่นเอง และด้วยเหตุนี้ บรรยากาศจะมีแนวโน้มที่มีเสถียรภาพมากขึ้นอีกเมื่ออุณหภูมิแวดล้อมของอากาศด้านบนนั้นอุ่นหรืออุณหภูมิที่พื้นผิวนั้นเย็น โดยหากว่าอุณหภูมิของอากาศที่ไหลมาแทนที่อากาศระดับบนนั้นอุ่นกว่าเดิมและอุณหภูมิของอากาศที่พื้นผิวไม่ได้เปลี่ยนแปลงไปมากนัก จะส่งผลให้ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อความสูง (environmental lapse rate) ลดลงและบรรยากาศจะมีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น เช่นเดียวกับเมื่อค่าอุณหภูมิที่บริเวณพื้นผิวด้านล่างเย็นตัวลง ส่งผลให้ environmental lapse rate จลดลงส่งผล และจะทำให้บรรยากาศเสถียรขึ้นเช่นกัน โดยการเย็นตัวลงของอากาศที่พื้นผิวนั้นอาจเกิดได้จาก

1. การแผ่รังสีความร้อนจากพื้นดินในตอนกลางคืนทำให้บริเวณพื้นผิวสูญเสียความร้อนและเย็นตัวลง

2. ลมระดับพื้นผิวพัดพาอากาศเย็นไหลเข้ามาแทนที่

3. อากาศเคลื่อนที่ผ่านพื้นผิวที่มีอุณหภูมิต่ำ

นั่นจึงส่งผลให้ในแต่ละวัน บรรยากาศจะมีเสถียรภาพที่สุดในช่วงเช้าตรู่ซึ่งเป็นช่วงที่อุณหภูมิบริเวณพื้นผิวนั้นต่ำที่สุด

อีกทางหนึ่งที่จะทำให้บรรยากาศมีเสถียรภาพมากก็คือเมื่อชั้นของอากาศทั้งชั้นเกิดการจมตัวลง ยกตัวอย่างเช่น เมื่อชั้นของอากาศที่ไม่อิ่มตัวซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่า 1000 เมตรและปกคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างได้เกิดการจมตัว อากาศทั้งชั้นนี้จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเนื่องจากการบีบอัดแบบอะเดียบาติก โดยเมื่อทั้งชั้นจมตัวลงมันจะถูกบีบอัดโดยน้ำหนักของตัวชั้นบรรยากาศเองทำให้เกิดการหดตัวแคบลงในแนวตั้ง ส่วนยอดด้านบนสุดของชั้นจะมีการจมตัวลงมากกว่าชั้นที่ด้านล่างและจะอุ่นกว่าบรรยากาศที่อยู่ด้านล่าง หลังจากการจมตัว เราจึงพบว่าบรรยากาศที่ด้านบนอุ่นกว่าด้านล่าง ส่งผลให้เกิดการผันกลับของอุณหภูมิ (inversion) ซึ่งการผันกลับของอุณหภูมิที่เกิดจากการจมตัวของชั้นบรรยากาศนี้เรียกว่า subsidence inversion หรือการผันกลับเนื่องจากการจมตัวปรากฏการณ์นี้บางครั้งก็สามารถพบได้ที่ระดับพื้นผิว แต่ส่วนใหญ่แล้วมักถูกพบที่ระดับสูงขึ้นไปและ

มักเกี่ยวข้องกับลักษณะความกดอากาศสูงที่กินพื้นที่เป็นบริเวณกว้างซึ่งจะทำให้เกิดการจมตัวของอากาศนั่นเอง

การผันกลับของอุณหภูมิจะเป็นตัวที่แสดงว่า ชั้นบรรยากาศนั้นมีเสถียรภาพอย่างสมบูรณ์ เพราะในการผันกลับของอุณหภูมินั้นอากาศที่อุ่นจะอยู่ด้านบนของอากาศที่เย็น และหากก้อนอากาศมีการยกตัวขึ้นสู่ชั้นของการผันกลับ มันก็จะมีแนวโน้มที่จะเย็นตัวลงในขณะที่อากาศรอบตัวมันกลับอุ่นขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้มวลอากาศเย็นนั้นมีแนวโน้มที่จะจมตัวกลับสู่ด้านล่าง

การผันกลับของอุณหภูมินี้ทำตัวเสมือนประหนึ่งว่าเป็นฝาครอบคอยปิดกั้นการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของอากาศ ถ้าหากการผันกลับของอุณหภูมิเกิดขึ้นในระดับใกล้เคียงกับพื้นดิน เรามักจะพบว่า มี เมฆแผ่น หมอก ฟ้าหลัว และมลพิษในอากาศเกิดขึ้นที่บริเวณใกล้กับพื้นผิวด้านล่างนั่นเอง โดยส่วนใหญ่แล้วมลพิษทางอากาศมักเกิดขึ้นในการผันกลับของอากาศอันเกิดจากการจมตัวเสมอ

อากาศที่มีเสถียรภาพแบบเป็นกลางก่อน (neutral stability) โดยถ้าหากว่าอัตราการเย็นตัวตามระดับความสูงของอากาศ (lapse rate) นั้นมีค่าเท่ากับอัตราการเย็นตัวอะเดียบาติกแบบแห้งของอากาศที่ไม่อึมตัวซึ่งลอยขึ้นหรือจมตัวลงนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิของอากาศรอบข้าง ส่งผลให้ในทุก ๆ ระดับความสูงก่อนอากาศและการรบกวนจะมีความหนาแน่นและอุณหภูมิเท่ากันเสมอ ซึ่งลักษณะอากาศแบบนี้ จะไม่ทำให้อากาศมีแนวโน้มที่จะลอยขึ้นหรือจมตัวลง เราจึงเรียกว่าอากาศที่มีเสถียรภาพแบบเป็นกลาง สำหรับในกรณีของอากาศที่อึมตัวนั้น ลักษณะเสถียรภาพแบบเป็นกลางจะเกิดขึ้น เมื่ออัตราการเย็นตัวของอากาศภายนอก (environmental lapse rate) เท่ากับอัตราการเย็นตัวอะเดียบาติกแบบชื้น (เอกสารเผยแพร่ความรู้ Meteorological Today, www.rnd.tmd.go.th)

1.5.2.2 บรรยากาศที่ไม่มีเสถียรภาพ

สมมติว่าวิทยุหยั่งอากาศส่งข้อมูลอุณหภูมิพื้นโลกออกมา เราจะทำการวิเคราะห์ลักษณะเสถียรภาพของอากาศ ด้วยการเปรียบเทียบอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนไปตามความสูงกับอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบอะเดียบาติกทั้งเปียกและแห้ง

ในกรณีนี้อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศที่แวดล้อมคือ 11 องศาเซลเซียสต่อทุก 1000 เมตร หรือ 6 องศาฟาเรนไฮต์ต่อทุก 1,000 ฟุต ก้อนอากาศไม่อึมตัวจากบริเวณพื้นผิวโลกกำลังลอยตัวขึ้นและค่อย ๆ เย็นตัวด้วยอัตราการเย็นตัวแบบอะเดียบาติกแบบแห้ง และเนื่องจากการเย็นตัวด้วยอัตราอะเดียบาติกแบบแห้งนั้นมีความน้อยกว่าการเย็นตัวของบรรยากาศที่แวดล้อม ก้อนอากาศจึงมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศที่แวดล้อมอยู่ และจะยังคงลอยตัวขึ้นไปเรื่อย ๆ สูงขึ้นไปจากตำแหน่งดั้งเดิม ซึ่งแสดงว่าอากาศนั้นไม่มีเสถียรภาพ และแน่นอนว่าอากาศอึมตัวซึ่งกำลังเย็นตัวลงด้วยอัตราของอะเดียบาติกแบบเปียกนั้นก็จะมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศรอบ ๆ ตัวของมันอยู่เสมอเช่นกัน

ในทั้งสองกรณีนั้นเมื่อก่อนอากาศเริ่มต้นยกตัวขึ้นก็จะรักษาการยกตัวขึ้นอย่างต่อเนื่องเพราะว่า
อุณหภูมิภายในก้อนอากาศจะสูงกว่าและมีความหนาแน่นต่ำกว่าอากาศที่อยู่รอบนอก

ลักษณะอากาศแบบที่ยกตัวอย่างนี้ คืออากาศแบบที่เราเรียกว่าสภาพอากาศที่ไม่มี
เสถียรภาพอย่างสมบูรณ์ คือลักษณะของอากาศที่อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามความสูงนั้นมีค่า
มากกว่าอัตราอะเดียบาติกแบบแห้งนั่นเอง

สิ่งที่ควรรู้คือเป็นบรรยากาศชั้นสูง ๆ นั้นมักจะพบลักษณะของการไม่มีเสถียรภาพแบบ
สมบูรณ์แบบนี้ได้ยาก ซึ่งลักษณะแบบนี้มักจะพบได้ในชั้นบรรยากาศบาง ๆ ที่อยู่ใกล้กับพื้นดินในวันที่
อากาศร้อนและมีแดดจัด ซึ่งจะส่งผลให้อากาศที่แวดล้อมมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตาม
ความสูงนั้นมีค่าเกินอัตราอะเดียบาติกแบบแห้ง ซึ่งอาจจะเรียกลักษณะแบบนี้ว่า ซุปเปอร์อะเดียบา
ติก (superadiabatic)

อาจจะมีบางโอกาสซึ่งพบได้ยาก เมื่อค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเทียบกับความสูงมี
ค่าเกิน 34 องศาเซลเซียสต่อ 100 เมตร อากาศจะเกิดการยกตัวเนื่องจากการพาความร้อนได้ด้วย
ตัวเองโดยไม่ต้องพึ่งปัจจัยภายนอกหรือเรียกอีกอย่างว่า autoconvective นั่นเอง

กล่าวโดยสรุปคือเราจะเห็นว่าบรรยากาศจะมีเสถียรภาพอย่างสมบูรณ์เมื่อการเปลี่ยนแปลง
ของอุณหภูมิต่อความสูงนั้นมีค่ามากกว่าอัตราอะเดียบาติกแบบเปียก บรรยากาศที่ไม่มีเสถียรภาพอย่าง
สมบูรณ์จะเกิดขึ้นเมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามความสูงมีค่ามากกว่าอัตราอะเดียบาติกแบบ
แห้ง อย่างไรก็ตามลักษณะอากาศโดยทั่วไปที่เรามักจะพบเจอนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตาม
ความสูงมักจะอยู่ระหว่างอัตราอะเดียบาติกแบบเปียกและแบบแห้ง(เอกสารเผยแพร่
ความรู้ Meteorological Today, www.rnd.tmd.go.th)

1.5.2.3 ลักษณะบรรยากาศที่ไม่มีเสถียรแบบมีเงื่อนไข

เมื่อก่อนอากาศที่ไม่อึมตัวถูกยกตัวขึ้นมันจะเย็นตัวลงด้วยอัตราอะเดียบาติกแบบ
แห้ง ซึ่งจะส่งผลให้อุณหภูมิในก้อนอากาศเย็นกว่าอากาศที่อยู่รอบๆ มันในทุกระดับชั้นความสูง มัน
จึงมีแนวโน้มที่จะจมตัวลงกลับสู่สถานะดั้งเดิม เนื่องจากมันอยู่ในลักษณะบรรยากาศที่มีเสถียรภาพ
ที่สมมติว่าก้อนอากาศที่ถูกยกตัวขึ้นนั้นอึมตัว ก้อนอากาศที่ถูกยกขึ้นจะมีอุณหภูมิสูงกว่า
อากาศที่อยู่รอบๆ มันในทุกระดับความสูง นั่นคือเมื่อก่อนอากาศนี้เริ่มต้นยกตัวขึ้นมันก็จะคงยกตัวขึ้น
ต่อไปเรื่อยๆ บรรยากาศนี้จะไม่เสถียรสำหรับก้อนอากาศที่อึมตัว ลักษณะแบบนี้เราจะเรียกว่า
บรรยากาศไม่อึมตัวแบบมีเงื่อนไข

ลักษณะเสถียรภาพของบรรยากาศแบบนี้จะขึ้นอยู่กับก้อนอากาศที่ยกตัวขึ้นว่าอึมตัว
หรือไม่อึมตัว เมื่อก่อนอากาศที่ยกตัวนั้นไม่อึมตัวบรรยากาศจะมีเสถียรภาพ แต่ถ้าหากก้อนอากาศที่
ยกตัวนั้นอึมตัว บรรยากาศก็จะกลายเป็นไม่มีเสถียรภาพ ลักษณะความไม่เสถียรภาพแบบมีเงื่อนไขนี้

ยังหมายถึงว่า เมื่ออากาศไม่อิ่มตัวถูกยกตัวขึ้นถึงระดับที่มันอิ่มตัว มันจะกลายเป็นบรรยากาศที่ไม่มีเสถียรภาพทันที

การมีเสถียรภาพแบบมีเงื่อนไขนี้จะเกิดขึ้นเมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเทียบกับความสูงอยู่ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงอะเดียบาติกแบบเปียกและแบบแห้ง อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเทียบกับความสูงโดยเฉลี่ยแล้วจะมีค่าอยู่ที่ 6.5 องศาเซลเซียสต่อ 1000 เมตรสำหรับบรรยากาศชั้นโทรโปสเฟียร์ ซึ่งค่าที่วางนี้อยู่ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงอะเดียบาติกแบบเปียกและแบบแห้ง แสดงว่าลักษณะบรรยากาศโดยทั่วไปนั้นจะอยู่ในลักษณะไม่มีเสถียรภาพแบบมีเงื่อนไขนั่นเอง

สาเหตุของการไม่มีเสถียรภาพ

บรรยากาศจะมีเสถียรภาพลดลงเมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อความสูงนั้นมีความลาดเอียงมากขึ้น หรือพูดอีกอย่างหนึ่งก็คืออุณหภูมิลดลงเร็วขึ้นเมื่อเทียบกับความสูงที่เพิ่มขึ้น ซึ่งลักษณะแบบนี้อาจเกิดได้จากทั้งอากาศข้างบนเย็นตัวลงหรืออากาศข้างล่างมีอุณหภูมิเพิ่มมากขึ้น

การที่อากาศข้างบนเย็นตัวลงอาจเกิดได้จาก

1. ลมพัดเอาอากาศที่เย็นกว่าเคลื่อนที่เข้ามา
2. เมฆหรืออากาศที่ด้านบนมีการแผ่รังสีอินฟราเรดออกสู่อวกาศทำให้เกิดการเย็นตัวลง

ส่วนสาเหตุที่ทำให้อากาศบริเวณพื้นผิวอุ่นขึ้นนั้นอาจเกิดได้จาก

1. แสงอาทิตย์ที่ให้ความร้อนกับพื้นผิวโลกในช่วงเวลากลางวัน
2. อากาศร้อนที่ถูกพัดพาเข้ามาใกล้ลม
3. อากาศเคลื่อนที่ผ่านพื้นผิวที่ร้อน

ซึ่งทั้งการเย็นตัวของอากาศที่ด้านบนหรือการร้อนขึ้นของอากาศที่ด้านล่าง ก็จะร่วมกันส่งผลให้อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามความสูงนั้นมีความลาดเอียงมากขึ้นและทำให้บรรยากาศขาดเสถียรภาพได้ (เอกสารเผยแพร่ความรู้ Meteorological Today, www.rnd.tmd.go.th)

1.5.3 ดัชนีเสถียรภาพอากาศ

ดัชนีเสถียรภาพอากาศมีวิธีการในการคำนวณและการนำมาใช้ในหลากหลายรูปแบบ ดังเช่น

SHOW Showalter index

SHOW = $T_{500} - T_{parcel}$

T_{500} = Temperature in Celsius at 500 mb

T_{parcel} = Temperature in Celsius at 500 mb of a parcel lifted from 850 mb

LIFT Lifted index

$$\text{LIFT} = T500 - T_{\text{parcel}}$$

T500 = temperature in Celsius of the environment at 500 mb

Tparcel = 500 mb temperature in Celsius of a lifted parcel with the average pressure, temperature, and dewpoint of the layer 500 m above the surface

LFTV LIFT computed by using virtual temperature.

SWET SWEAT index

$$\text{SWET} = 12 * \text{TD850} + 20 * \text{TERM2} + 2 * \text{SKT850} + \text{SKT500} + \text{SHEAR}$$

TD850 = Dewpoint in Celsius at 850 mb

TERM2 = MAX (TOTL - 49, 0)

TOTL = Total totals index

SKT850 = 850 mb wind speed in knots

SKT500 = 500 mb wind speed in knots

SHEAR = 125 * [SIN (DIR500 - DIR850) + .2]

DIR500 = 500 mb wind direction

DIR850 = 850 mb wind direction

KINX K index

$$\text{KINX} = (T850 - T500) + \text{TD850} - (T700 - \text{TD700})$$

T850 = Temperature in Celsius at 850 mb

T500 = Temperature in Celsius at 500 mb

TD850 = Dewpoint in Celsius at 850 mb

T700 = Temperature in Celsius at 700 mb

TD700 = Dewpoint in Celsius at 700 mb

CTOT Cross Totals index

$$\text{CTOT} = \text{TD850} - T500$$

TD850 = Dewpoint in Celsius at 850 mb

T500 = Temperature in Celsius at 500 mb

VTOT Vertical Totals index

$$\text{VTOT} = T850 - T500$$

T850 = Temperature in Celsius at 850 mb

T500 = Temperature in Celsius at 500 mb

TTOT Total Totals index

$$\text{TOTL} = (T850 - T500) + (\text{TD850} - T500)$$

T850 = Temperature in Celsius at 850 mb

TD850 = Dewpoint in Celsius at 850 mb

T500 = Temperature in Celsius at 500 mb

CAPE Convective Available Potential Energy (J/kg)

$$\text{CAPE} = \text{GRAVITY} * \text{SUMP} (\text{DELZ} * (\text{TP} - \text{TE}) / \text{TE})$$

SUMP = sum over sounding layers from LFCT to EQLV for which (TP - TE) is greater than zero

DELZ = incremental depth

TP = temperature of a parcel from the lowest 500 m of the atmosphere, raised dry adiabatically to the LCL and moist adiabatically thereafter

TE = temperature of the environment

CAPV CAPE computed by using the virtual temperature.

$$\text{CAPV} = \text{GRAVITY} * \text{SUMP} (\text{DELZ} * (\text{TVP} - \text{TVE}) / \text{TVE})$$

SUMP = sum over sounding layers from LFCV to EQTV for which (TVP - TVE) is greater than zero

DELZ = incremental depth

TVP = virtual temperature of a parcel from the lowest 500 m of the atmosphere, raised dry adiabatically to the LCL and moist adiabatically thereafter

TVE = virtual temperature of the environment

CINS Convective Inhibition (J/kg)

$$\text{CINS} = \text{GRAVITY} * \text{SUMN} (\text{DELZ} * (\text{TP} - \text{TE}) / \text{TE})$$

SUMN = sum over sounding layers from top of the mixed layer to LFCT for which (TP - TE) is less than zero.

DELZ = incremental depth

TP = temperature of a parcel from the lowest 500 m of the atmosphere, raised dry adiabatically to the LCL and moist adiabatically thereafter

TE = temperature of the environment

CINV CINS computed by using the virtual temperature.

$$\text{CINV} = \text{GRAVITY} * \text{SUMN} (\text{DELZ} * (\text{TVP} - \text{TVE}) / \text{TVE})$$

SUMN = sum over sounding layers from top of the mixed layer to LFCV for which (TVP - TVE) is less than zero.

DELZ = incremental depth

TVP = virtual temperature of a parcel from the lowest 500 m of the atmosphere, raised dry adiabatically to the LCL and moist adiabatically thereafter

TVE = virtual temperature of the environment

EQLV Equilibrium level (hPa)

EQLV = level at which a parcel from the lowest 500 m of the atmosphere is raised dry adiabatically to the LCL and moist adiabatically to a level above which the temperature of the parcel is the same as the environment. If more than one Equilibrium Level exists, the highest one is chosen.

EQTV EQLV computed by using the virtual temperature.

LFCT Level of Free Convection (hPa) by comparing temperature between a parcel and the environment

LFCT = level at which a parcel from the lowest 500 m of the atmosphere is raised dry adiabatically to LCL and moist adiabatically to the level above which the parcel is positively buoyant. If more than one LFCT exists, the lowest level is chosen. If the parcel is positively buoyant throughout the sounding, the LFCT is set to be the same as the LCLP.

LFCV LFCT computed by using the virtual temperature.

BRCH Bulk Richardson number

$$\text{BRCH} = \text{CAPE} / (0.5 * U^{**2})$$

CAPE = Convective Available Potential Energy

U = magnitude of shear ($u_2 - u_1, v_2 - v_1$)

u_1, v_1 = average u, v in the lowest 500 m

u_2, v_2 = average u, v in the lowest 6000 m

BRCV BRCH computed by using CAPV

$$\text{BRCV} = \text{CAPV} / (0.5 * U^{**2})$$

CAPV = CAPE computed by using the virtual temperature.

U = magnitude of shear ($u_2 - u_1, v_2 - v_1$)

u_1, v_1 = average u, v in the lowest 500 m

u_2, v_2 = average u, v in the lowest 6000 m

LCLT Temperature (K) at the LCL, the lifting condensation level, from an average of the lowest 500 meters.

$$LCLT = [1 / (1 / (DWPk - 56) + \ln(TMPk / DWPk) / 800)] + 56$$

LCLP Pressure (hPa) at the LCL, the lifting condensation level, from an average of the lowest 500 meters.

$$LCLP = PRES * (LCLT / (TMPC + 273.15)) ** (1 / KAPPA)$$

Poisson's equation

MLTH Mean mixed layer THTA (K)

MLTH = average THTA in the lowest 500 m

MLMR Mean mixed layer MIXR (g/kg)

MLMR = average MIXR in the lowest 500 m

THTK 1000 mb to 500 mb thickness (meter)

$$THTK = (Z500 - Z1000)$$

Z500 = Height of the 500 mb surface

Z1000 = Height of the 1000 mb surface

PWAT Precipitable water (mm) for the entire sounding.

(<http://weather.uwyo.edu/upperair/indices.html>, 22022022)

1.5.4 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation)

สหสัมพันธ์เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลหรือตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป ว่ามีความสัมพันธ์กันในระดับใด และมีความสัมพันธ์ในทิศทางใด เช่น ความสูงกับน้ำหนักของคน มีความสัมพันธ์กันมากหรือน้อยและมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันหรือตรงกันข้าม

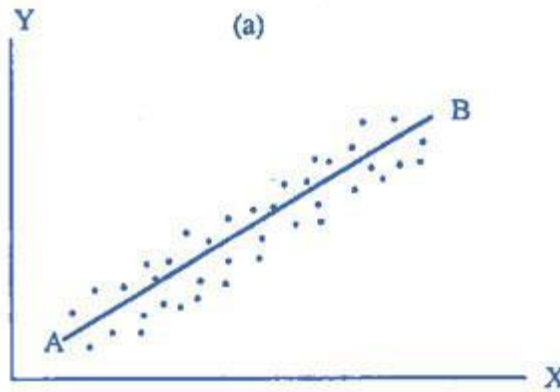
การหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลหรือตัวแปร 2 ตัว เรียกว่าสหสัมพันธ์อย่างง่าย (simple correlation) การหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลหรือตัวแปรมากกว่า 2 ตัว เรียกว่า สหสัมพันธ์เชิงพหุ (multiple correlation)

การดูลักษณะความสัมพันธ์ของข้อมูล หรือตัวแปรสามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

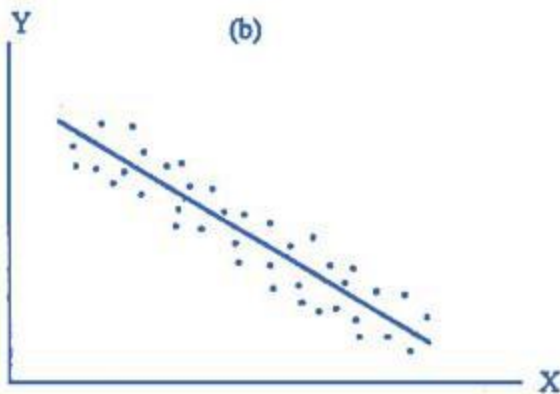
1. แผนภาพการกระจาย (scatter diagram)
2. ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient)

1.5.4.1 แผนภาพการกระจาย

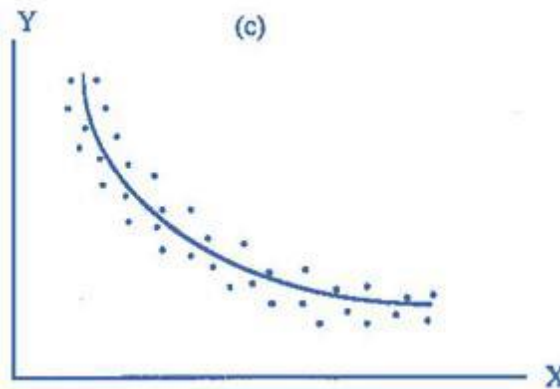
แผนภาพการกระจายเป็นวิธีการดูลักษณะความสัมพันธ์ของข้อมูลอย่างคร่าวๆ โดยดูจากลักษณะการกระจาย หรือแนวโน้มของจุดเมื่อเทียบกับเส้นตรง ดังนี้



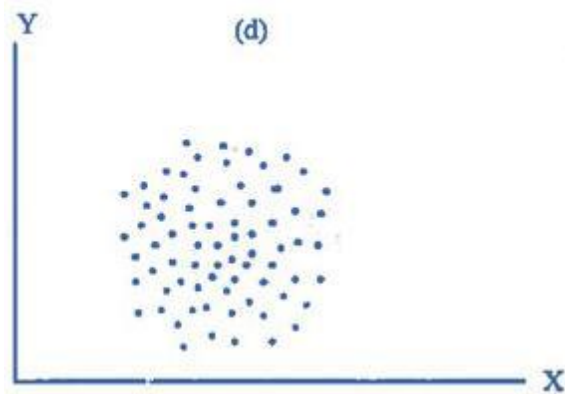
ในรูป (a) แนวโน้มของจุดชี้ขึ้นด้านขวาตามแนวเส้นตรง เมื่อ x มีค่ามาก y มีค่ามาก เมื่อ x มีค่าน้อย y มีค่าน้อย เรียกว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นเชิงบวก (positive and linear correlation) หรือความสัมพันธ์แบบแปรตามกัน



ในรูป (b) แนวโน้มของจุดชี้ลงด้านขวาตามแนวเส้นตรง เมื่อ x มีค่ามาก y มีค่าน้อย เมื่อ x มีค่าน้อย y มีค่ามาก เรียกว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นเชิงลบ (negative and linear correlation) หรือความสัมพันธ์แบบแปรผกผัน



ในรูป (c) แนวโน้มของจุดขลงด้านขวาตามแนวเส้นโค้ง เรียกว่ามีความสัมพันธ์ไม่เชิงเส้นเชิงลบ (negative and nonlinear correlation)



ในรูป (d) แนวโน้มของจุดกระจายออกไม่มีแนวเส้นตรง เรียกว่าไม่มีความสัมพันธ์ (no correlation)

1.5.4.2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

สำหรับตัวสถิติที่ใช้วัดค่าสหสัมพันธ์อย่างง่ายว่ามีความสัมพันธ์มากหรือน้อยเพียงใดคือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) ซึ่งในกรณีของสหสัมพันธ์อย่างง่ายตัวสถิตินี้ เรียกว่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่าย (Simple Correlation Coefficient) เขียนแทนด้วย

สัญลักษณ์ P หรือ P_{xy} ในกรณีที่เป็นค่าพารามิเตอร์ และ r หรือ r_{xy} ในกรณีที่เป็นค่าสถิติ โดยที่ P และ r จะไม่มีหน่วยและมีค่าตั้งแต่ -1 ถึง 1

5.3.2.1 ความหมายของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่คำนวณได้มีความหมายดังนี้

1. ถ้า P และ r มีค่าเป็นบวก แสดงว่าตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงบวก หมายความว่าถ้าตัวแปร X มีค่าเพิ่มขึ้นตัวแปร Y จะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือถ้าตัวแปร X มีค่าลดลง ตัวแปร Y จะมีค่าลดลง
2. ถ้า P และ r มีค่าเป็นลบ แสดงว่าตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงลบ หมายความว่าถ้าตัวแปร X มีค่าเพิ่มขึ้นตัวแปร Y จะมีค่าลดลง หรือถ้าตัวแปร X มีค่าลดลง ตัวแปร Y จะมีค่าเพิ่มขึ้น
3. ถ้า P และ r มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างสมบูรณ์ (perfect positive correlation)
4. ถ้า P และ r มีค่าเท่ากับ -1 แสดงว่าตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างสมบูรณ์ (perfect negative correlation)

5. ถ้า P และ r มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงบวกและมีความสัมพันธ์มาก

6. ถ้า P และ r มีค่าเข้าใกล้ -1 แสดงว่าตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงลบและมีความสัมพันธ์มาก

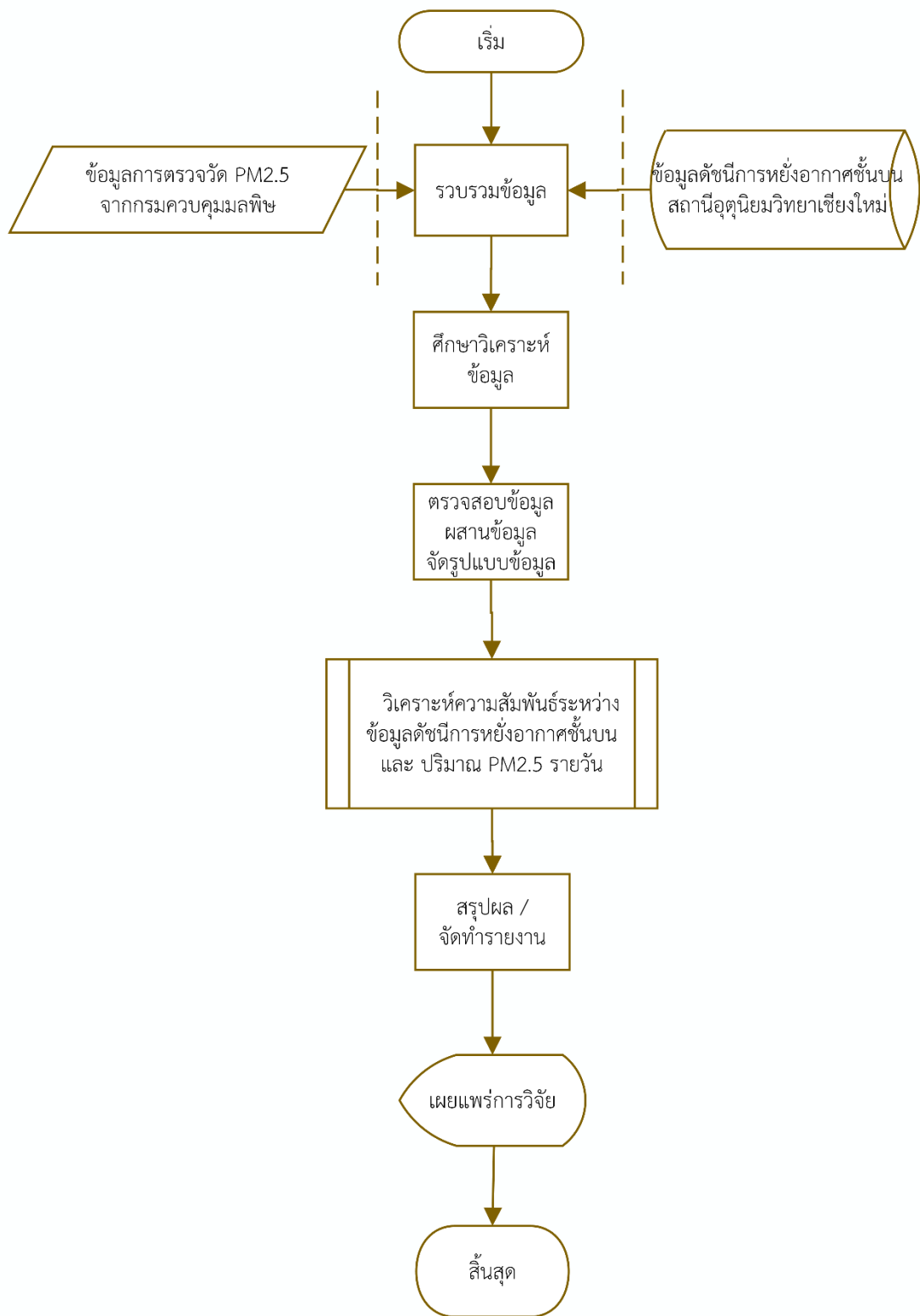
7. ถ้า P และ r มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์กันน้อย

8. ถ้า P และ r มีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าตัวแปร X และ Y ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น

(ชลิตา, <https://pws.npru.ac.th/chalida/>, 22/02/2022)

1.6 วิธีดำเนินการศึกษา

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลดัชนีเสถียรภาพอากาศ ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่ (48327) กรมอุตุนิยมวิทยากับ ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศจากภาคพื้นดิน ของกรมควบคุมมลพิษ ในพื้นที่ภาคเหนือ มีขั้นตอนการดำเนินการศึกษาฯ ตามผังการดำเนินงานรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงผังการดำเนินการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศที่สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดเชียงใหม่กับค่าปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5)

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

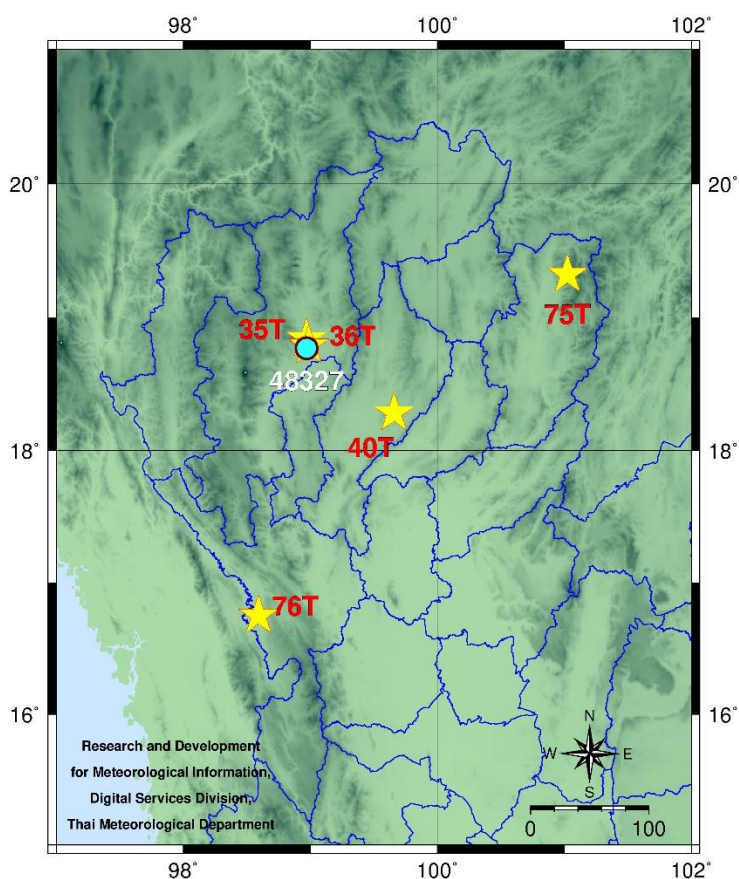
ทำให้ทราบถึงตัวแปรในข้อมูลดัชนีเสถียรภาพอากาศที่มีความสัมพันธ์และมีผลกระทบต่อปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) ในบริเวณจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งองค์ความรู้ที่ได้จะสามารถใช้เป็นแหล่งข้อมูลอ้างอิง เพื่อขยายผลต่อไปยังพื้นที่การศึกษาอื่น ๆ ได้

บทที่ 2

ข้อมูลและวิธีดำเนินการศึกษา (Material & Method)

2.1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

การศึกษความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดเชียงใหม่กับค่าปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) ได้เลือกพื้นที่ทำการศึกษาในภาคเหนือของประเทศไทย โดยข้อมูลดัชนีเสถียรภาพอากาศใช้ข้อมูลที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่(48327) กรมอุตุนิยมวิทยา และปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศจากภาคพื้นดิน ของกรมควบคุมมลพิษ โดยแสดงตำแหน่งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ กรมควบคุมมลพิษ และตำแหน่งสถานีตรวจอากาศชั้นบนสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่(48327) ได้ดังรูปที่ 2 และตารางที่ 1



รูปที่ 2 แสดงตำแหน่งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ กรมควบคุมมลพิษ ทั้ง 5 สถานี และตำแหน่งสถานีตรวจอากาศชั้นบนสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่ (48327)

ตารางที่ 1 รายละเอียดสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ กรมควบคุมมลพิษ ทั้ง 4 สถานี

รหัส สถานี	ชื่อสถานี	จังหวัด	ตำแหน่งที่ตั้ง	
			Latitude (°N)	Longitude (°E)
35T	ศูนย์ราชการจังหวัดเชียงใหม่ ต.ช้างเผือก อ.เมือง	เชียงใหม่	18.84064	98.96966
36T	โรงเรียนยุพราชวิทยาลัย ต.ศรีภูมิ อ.เมือง	เชียงใหม่	18.79093	98.98811
40T	การประปาส่วนภูมิภาคแม่เมาะ ต.แม่เมาะ อ.แม่เมาะ	ลำปาง	18.28267	99.65987
75T	โรงพยาบาลเฉลิมพระเกียรติ ต.ห้วยโก๋น อ.เฉลิมพระเกียรติ	น่าน	19.322387	101.025372
76T	ศูนย์การศึกษานอกโรงเรียน ต.แม่ปะ อ.แม่สอด	ตาก	16.750133	98.591314

2.2 ข้อมูลที่ใช้

ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลดัชนีเสถียรภาพอากาศ ที่สถานีอุตุนิยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่(48327) กรมอุตุนิยวิทยากับ ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศจากภาคพื้นดิน ของกรมควบคุมมลพิษ ในพื้นที่ภาคเหนือมีการนำข้อมูลมาทำการศึกษาจากหลายแหล่ง ดังนี้

2.2.1 ข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

ข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) ที่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้ข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) เดิมที่มีอยู่แล้วและบางส่วนนำมาจากเว็บไซต์ของกรมควบคุมมลพิษ (<http://www.air4thai.com/webV2/index.php>) โดยมีทั้งข้อมูลรายวันและรายเดือน ข้อมูลที่ได้มานั้นเป็นลักษณะข้อมูลรายสถานี มีจำนวนทั้งสิ้น 5 สถานี 4 จังหวัด ใช้ข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557 – 2562

2.2.2 ข้อมูลดัชนีเสถียรภาพอากาศ ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่(48327)

ค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่(48327) ที่ได้นำมาใช้ ประกอบด้วยค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศดังนี้

- 1000 hPa to 500 hPa thickness
- Bulk Richardson Number
- Bulk Richardson Number using CAPV
- Convective Available Potential Energy
- CAPE using virtual temperature
- Convective Inhibition
- CINS using virtual temperature
- Cross totals index
- Equilibrium Level
- Equilibrium Level using virtual temperature
- K index
- Level of Free Convection
- LFCT using virtual temperature
- Lifted index
- LIFT computed using virtual temperature
- Mean mixed layer mixing ratio
- Mean mixed layer potential temperature
- Pres [hPa] of the Lifted Condensation Level
- Precipitable water [mm] for entire sounding
- Showalter index
- SWEAT index
- Temp [K] of the Lifted Condensation Level
- Totals totals index
- Vertical totals index

โดยข้อมูลค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่(48327) ได้นำเข้าข้อมูลจากเว็บไซต์ <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> ใช้ข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2516 – 2562 โดยสถานีตรวจอากาศชั้นบนสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่(48327) ตั้งอยู่ที่ ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่

2.3 วิธีดำเนินการศึกษา

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดเชียงใหม่กับค่าปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) มีขั้นตอนดังนี้

2.3.1 รวบรวมข้อมูล

ข้อมูลปริมาณค่าฝุ่นละออง PM2.5 ที่นำมาใช้ในการศึกษาอยู่ในรูปแบบของตารางคำนวณจากโปรแกรมสำเร็จรูป จึงได้ทำการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบ csv เพื่อที่จะได้มีความสะดวกในนำไปใช้ในกระบวนการถัดไป และข้อมูลค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดเชียงใหม่ ขั้นตอนรายละเอียดการนำเข้า การเตรียม รวบรวม และการจัดรูปแบบข้อมูล ในภาคผนวก ก และภาคผนวก ข

2.3.2 การสำรวจและการทำความสะอาดข้อมูล

จากการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นในชุดข้อมูลพบว่าจะมีค่า NaN หรือค่า 0.0 ซึ่งเป็นค่า Missing value และอาจจะมีค่าผิดปกติ ค่า outlier รวมอยู่ภายในชุดข้อมูลด้วย ดังนั้น จึงต้องมีการทำความสะอาดข้อมูล Data Cleaning เพื่อให้ข้อมูลมีความถูกต้องมีประสิทธิภาพมากขึ้น สำหรับการนำไปใช้งานต่อไป

2.3.3 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์

หลังจากได้ข้อมูลที่ผ่านการทำความสะอาดข้อมูลมาแล้ว ในการศึกษานี้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปด้านตารางคำนวณ ในการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ ค่า R และการสร้าง scatter plot diagram สำหรับ 2 ตัวแปร มาทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทั้งหมด ว่ามีความสัมพันธ์กันในระดับใด และมีความสัมพันธ์ในทิศทางใด

2.3.4 วิเคราะห์ผลและสรุป

เมื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทั้งหมดเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก็จะพิจารณาผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ ว่าข้อมูลที่ได้มีความสัมพันธ์สอดคล้องกันหรือไม่ มากหรือน้อยเพียงใด และไปในทิศทางใด ไปในทิศทางเดียวกันหรือไปในทิศทางตรงกันข้าม แล้วจึงสรุปผลการศึกษา และจัดทำรายงานต่อไป

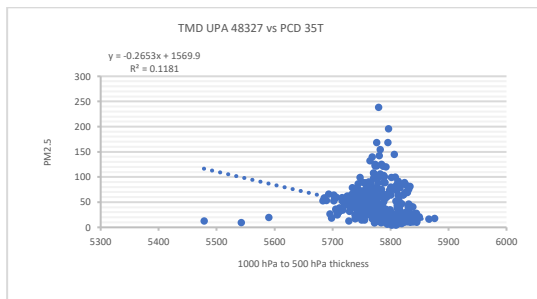
บทที่ 3

ผลการศึกษา (Result)

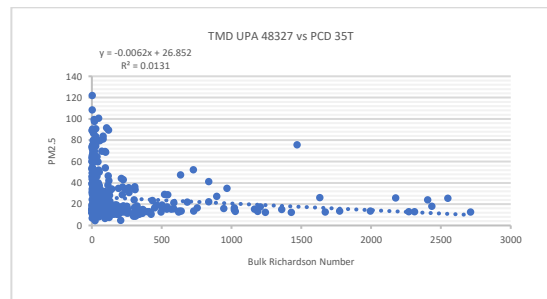
ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดเชียงใหม่กับค่าปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) ได้ผลการศึกษาดังนี้

3.1 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 35T และค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศสถานีตรวจอากาศเชียงใหม่

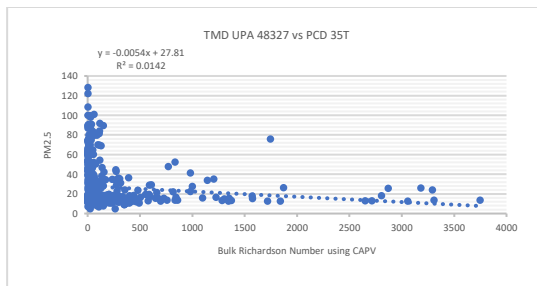
ความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 35T ศูนย์ราชการ จังหวัดเชียงใหม่ และค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ



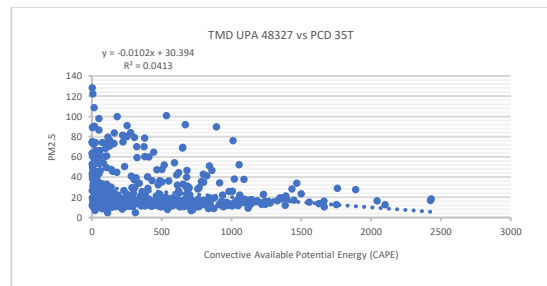
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า thickness ที่ 1000 hPa - 500 hPa



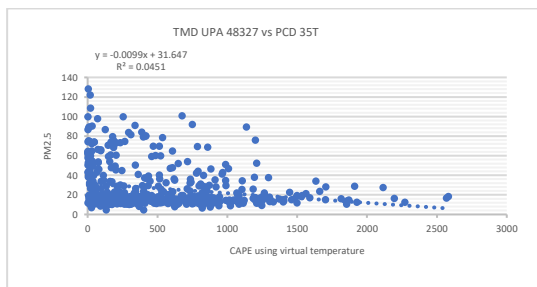
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Bulk



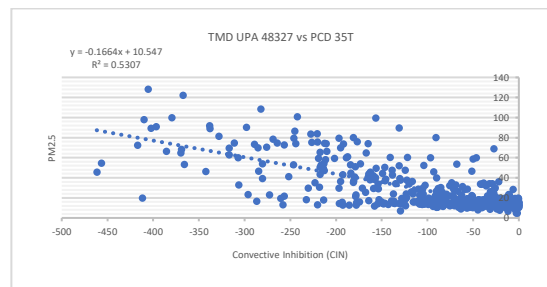
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Bulk Richardson Number ที่ได้จาก CAPV



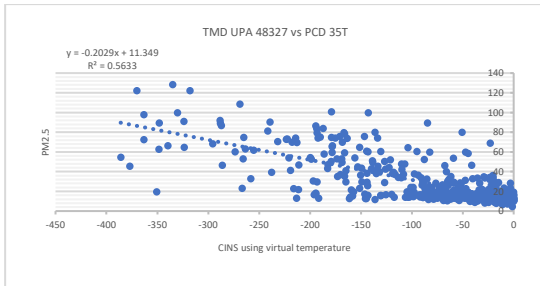
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Convective Available Potential Energy (CAPE)



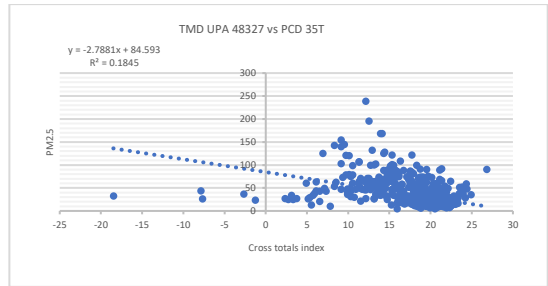
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Convective Available Potential Energy (CAPE) ที่ได้จาก virtual temperature



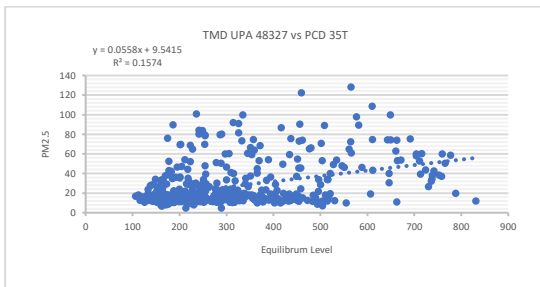
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Convective Inhibition (CIN)



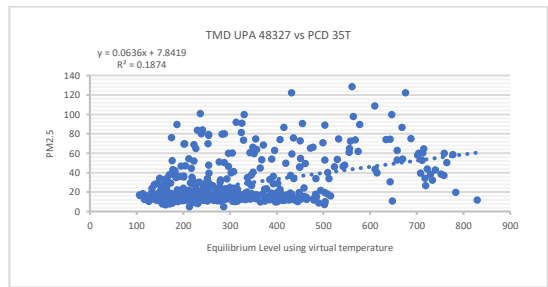
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า CINS ที่ได้จาก virtual temperature



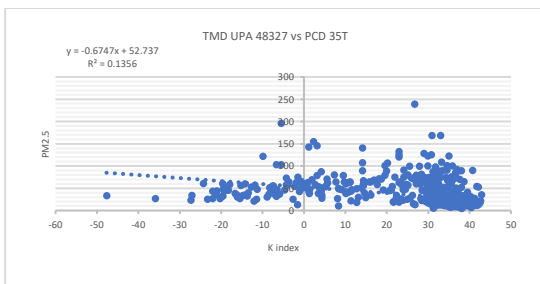
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Cross totals index



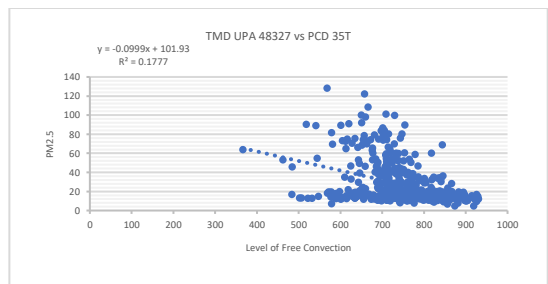
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Equilibrium Level



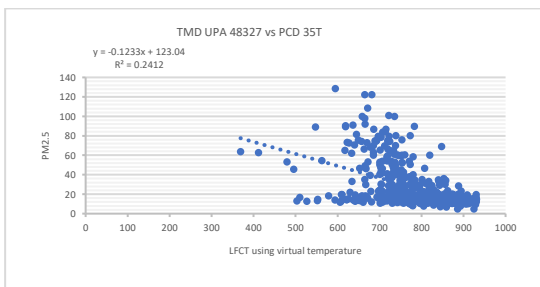
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Equilibrium Level ที่ได้จาก virtual temperature



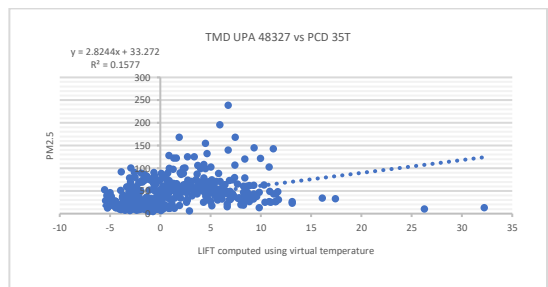
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า K index



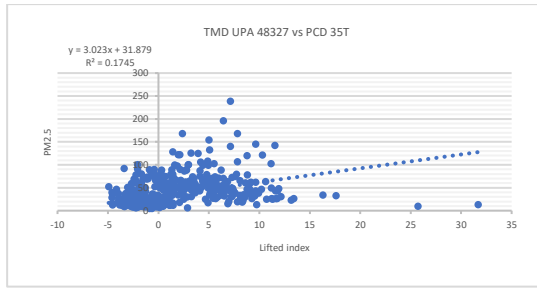
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Level of Free Convection



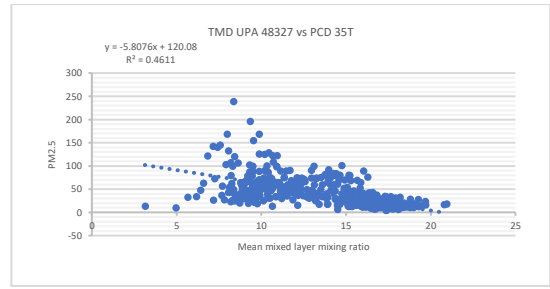
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า LFCT ที่คำนวณได้จาก virtual temperature



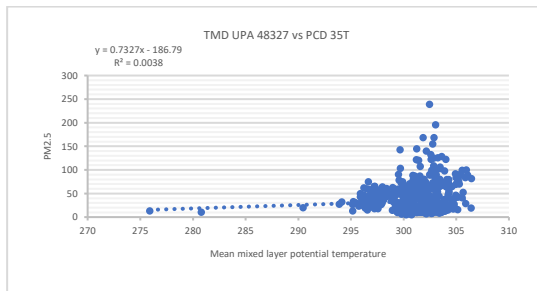
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า LIFT ที่คำนวณได้จาก virtual temperature



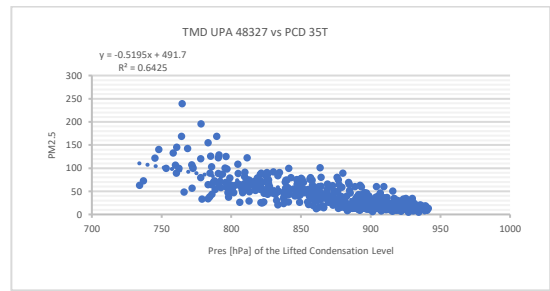
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Lifted index



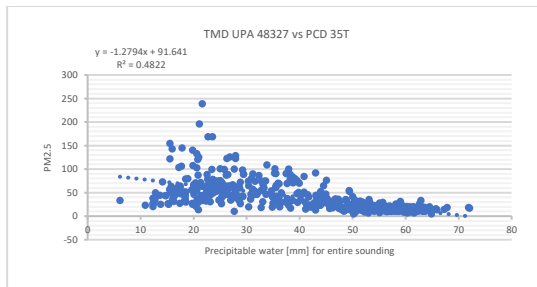
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Mean mixed layer mixing ratio



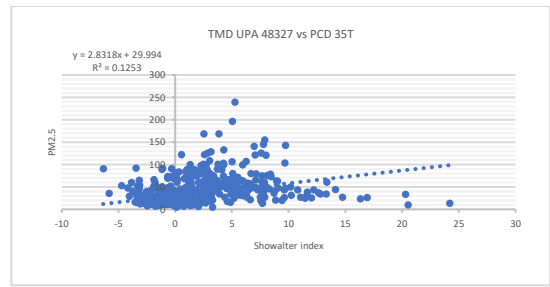
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Mean mixed layer potential temperature



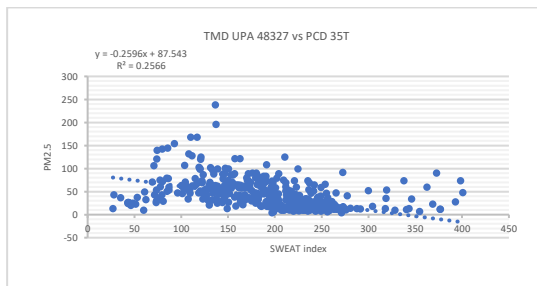
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Pres [hPa] of the Lifted Condensation Level



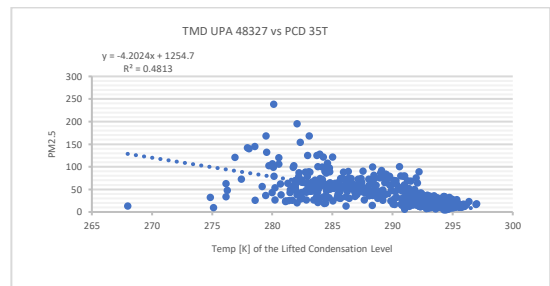
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Precipitable water [mm] for entire sounding



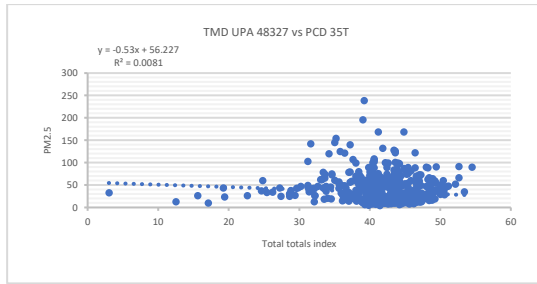
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Showalter index



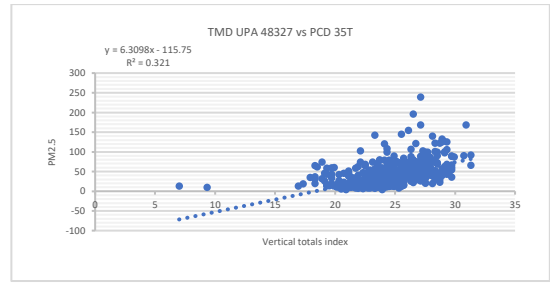
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า SWEAT index



แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Temp [K] of the Lifted Condensation Level



แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Total totals index



แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Vertical totals index

รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 35T ศาลากลางเมือง
จังหวัดเชียงใหม่ และค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ

ได้สรุปค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศสถานี 48327 กับค่าฝุ่นละออง
PM_{2.5} สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 35T ศาลากลางเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ได้ดังตาราง

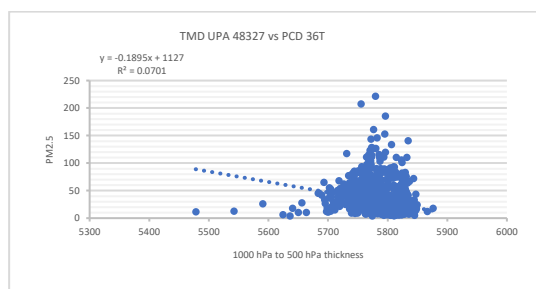
ตารางที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศสถานี 48327 กับค่าฝุ่นละออง
PM_{2.5} สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 35T ศาลากลางเมือง จังหวัดเชียงใหม่

ดัชนีเสถียรภาพอากาศ	สถานี		
	จำนวน ข้อมูล	ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์ (R)	R ²
1000 hPa to 500 hPa thickness	656	-0.344	0.1181
Bulk Richardson Number	498	-0.114	0.0131
Bulk Richardson Number using CAPV	509	-0.119	0.0142
Convective Available Potential Energy	509	-0.203	0.0413
CAPE using virtual temperature	516	-0.212	0.0451
Convective Inhibition	504	-0.728	0.5307
CINS using virtual temperature	503	-0.751	0.5633
Cross totals index	659	-0.43	0.1845
Equilibrium Level	506	0.397	0.1574
Equilibrium Level using virtual temperature	511	0.433	0.1874
K index	659	-0.368	0.1356
Level of Free Convection	514	-0.422	0.1777
LFCT using virtual temperature	519	-0.491	0.2412

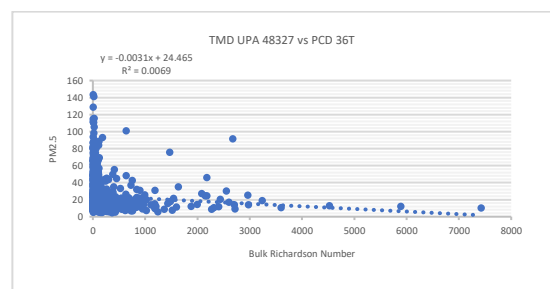
Lifted index	661	0.418	0.1745
LIFT computed using virtual temperature	661	0.397	0.1577
Mean mixed layer mixing ratio	661	-0.679	0.4611
Mean mixed layer potential temperature	661	0.062	0.0038
Pres [hPa] of the Lifted Condensation Level	661	-0.802	0.6425
Precipitable water [mm] for entire sounding	661	-0.694	0.4822
Showalter index	659	0.354	0.1253
SWEAT index	657	-0.507	0.2566
Temp [K] of the Lifted Condensation Level	661	-0.694	0.4813
Totals totals index	659	-0.09	0.0081
Vertical totals index	659	0.567	0.321

3.2 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 36T และค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศสถานีตรวจอากาศเชียงใหม่

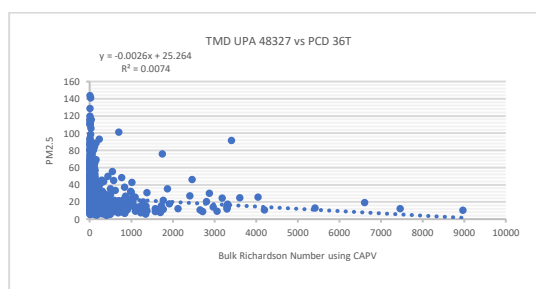
ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 36T โรงเรียนยุพราชวิทยาลัย จังหวัดเชียงใหม่ และค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ



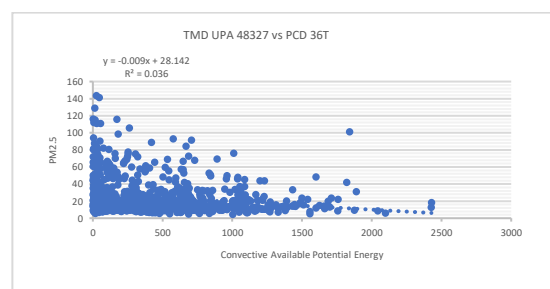
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า thickness ที่ 1000 hPa - 500 hPa



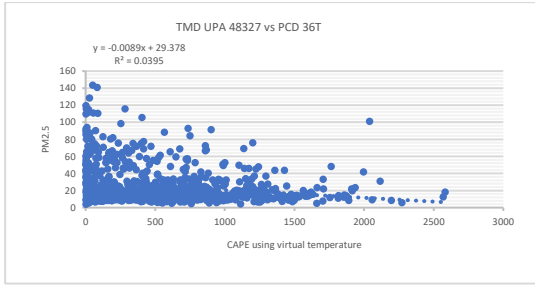
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Bulk Richardson Number



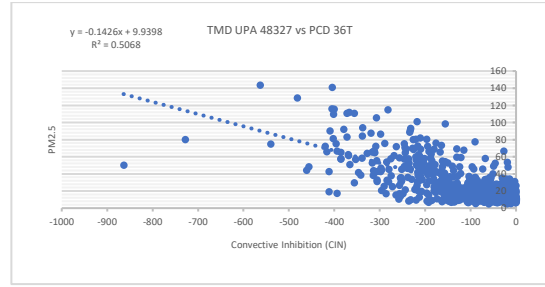
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Bulk Richardson Number ที่ได้จาก CAPV



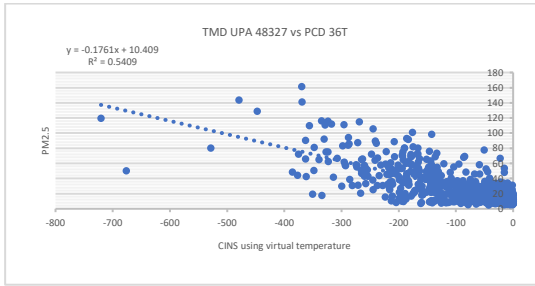
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Convective Available Potential Energy (CAPE)



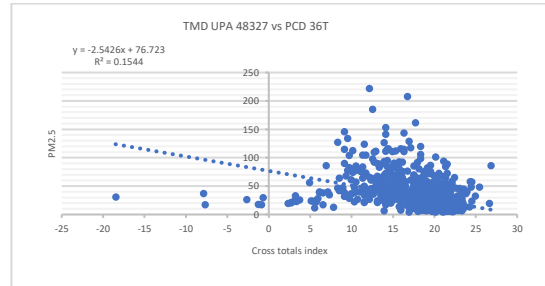
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Convective Available Potential Energy (CAPE) ที่ได้จาก virtual temperature



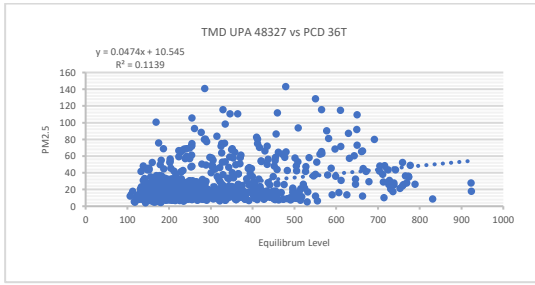
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Convective Inhibition (CIN)



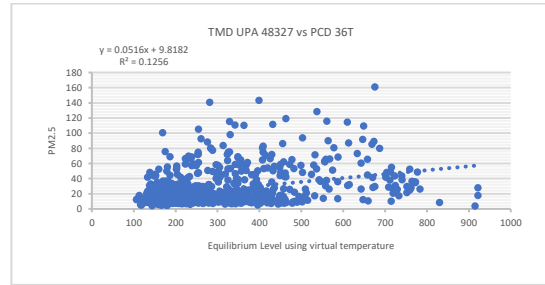
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า CINS ที่ได้จาก virtual temperature



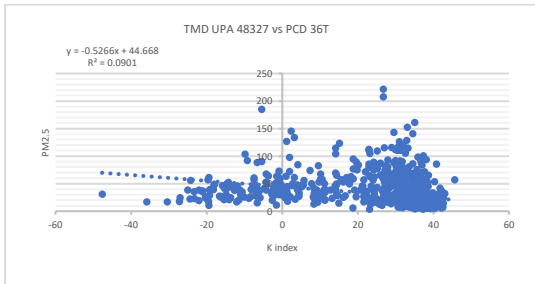
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Cross totals index



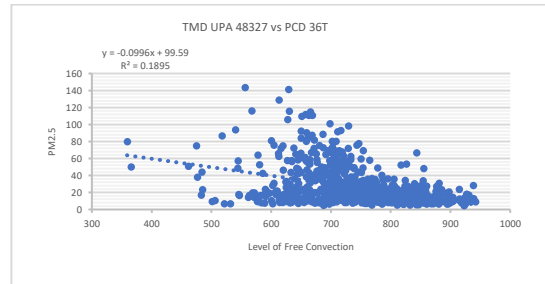
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Equilibrium Level



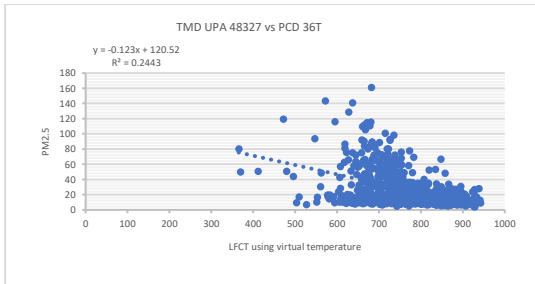
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Equilibrium Level ที่ได้จาก virtual temperature



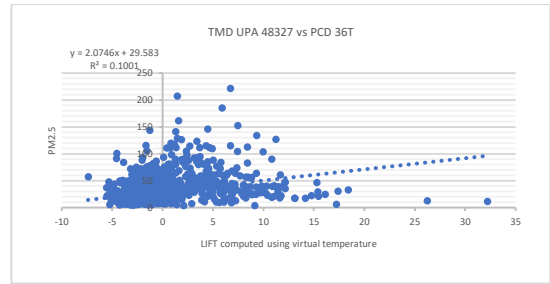
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า K index



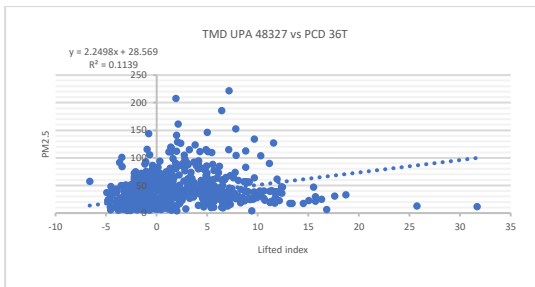
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Level of Free Convection



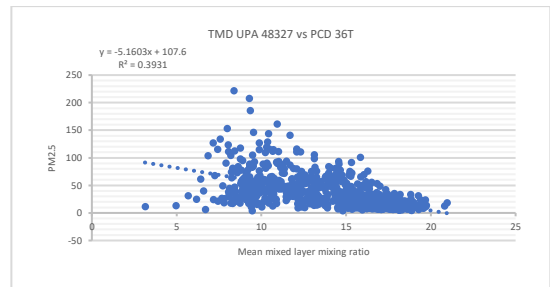
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า LIFT ที่คำนวณได้จาก virtual temperature



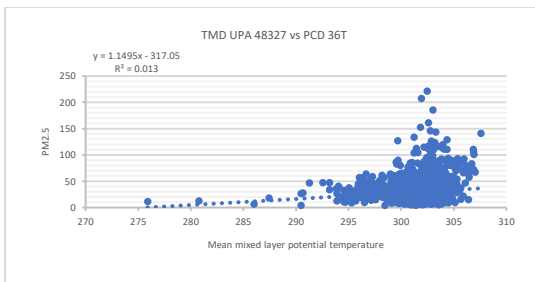
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า LIFT ที่คำนวณได้จาก virtual temperature



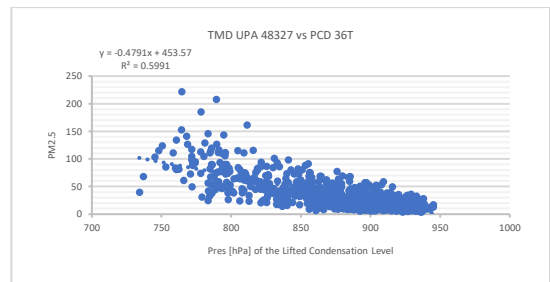
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Lifted index



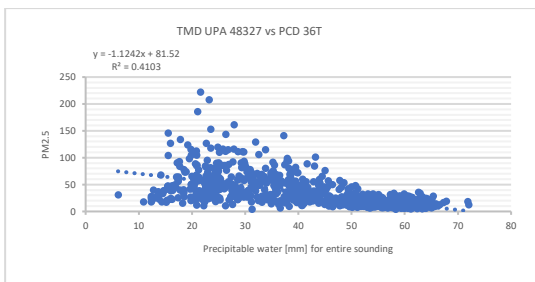
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Mean mixed layer mixing ratio



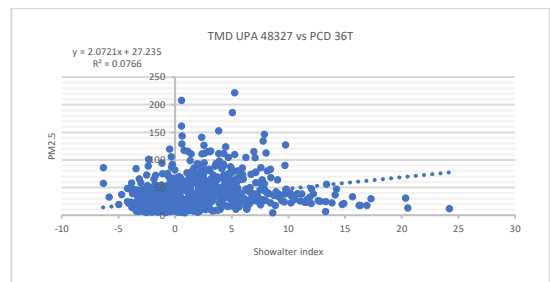
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Mean mixed layer potential temperature



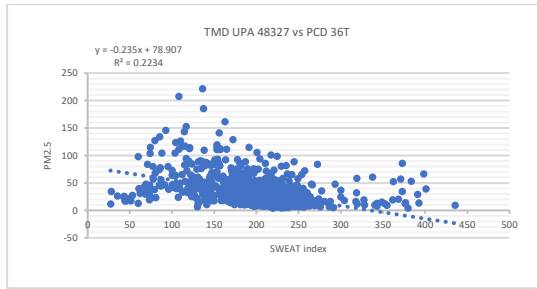
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Pres [hPa] of the Lifted Condensation Level



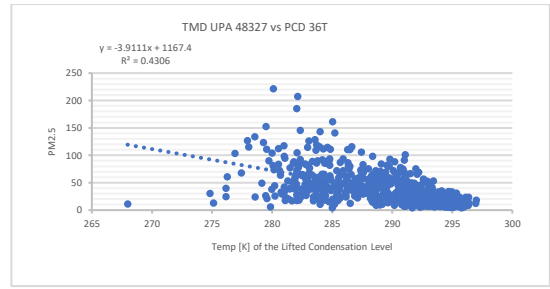
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Precipitable water [mm] for entire sounding



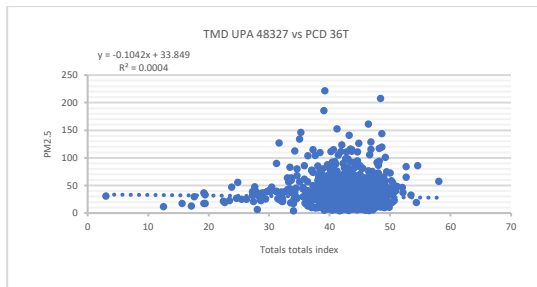
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Showalter index



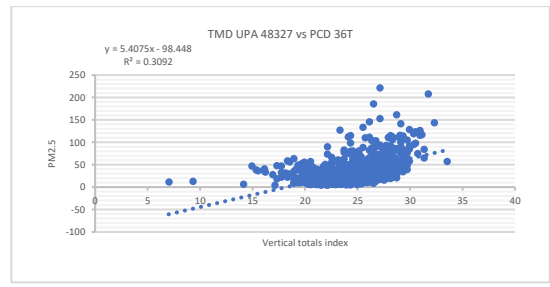
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า SWEAT index



แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Temp [K] of the Lifted Condensation Level



แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Total totals index



แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Vertical totals index

รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 36T โรงเรียนยุพราชวิทยาลัย จังหวัดเชียงใหม่ และค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ

ได้สรุปค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศสถานี 48327 กับค่าฝุ่นละออง PM_{2.5} สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 36T โรงเรียนยุพราชวิทยาลัย จังหวัดเชียงใหม่ ได้ดังตาราง

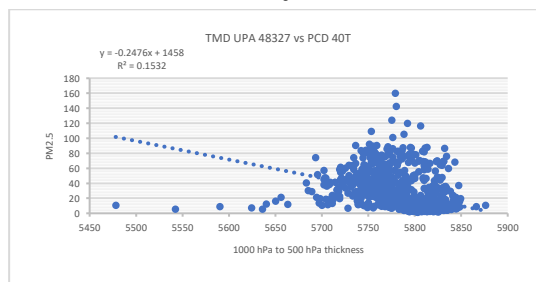
ตารางที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีการหยั่งอากาศสถานี 48327 กับค่าฝุ่นละออง PM_{2.5} สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 36T โรงเรียนยุพราชวิทยาลัย จังหวัดเชียงใหม่

ดัชนีการหยั่งอากาศ	สถานี		
	จำนวนข้อมูล	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R)	R ²
1000 hPa to 500 hPa thickness	1100	-0.265	0.0701
Bulk Richardson Number	875	-0.083	0.0069
Bulk Richardson Number using CAPV	892	-0.086	0.0074
Convective Available Potential Energy	889	-0.190	0.036
CAPE using virtual temperature	904	-0.199	0.0395
Convective Inhibition	874	-0.712	0.5068

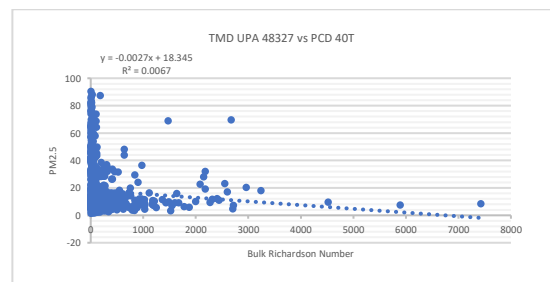
CINS using virtual temperature	875	-0.735	0.5409
Cross totals index	1103	-0.393	0.1544
Equilibrium Level	887	0.338	0.1139
Equilibrium Level using virtual temperature	900	0.354	0.1256
K index	1102	-0.3	0.0901
Level of Free Convection	897	-0.435	0.1895
LFCT using virtual temperature	910	-0.494	0.2443
Lifted index	1103	0.338	0.1139
LIFT computed using virtual temperature	1104	0.316	0.1001
Mean mixed layer mixing ratio	1105	-0.627	0.3931
Mean mixed layer potential temperature	1105	0.114	0.013
Pres [hPa] of the Lifted Condensation Level	1105	-0.774	0.5991
Precipitable water [mm] for entire sounding	1105	-0.64	0.4103
Showalter index	1102	0.277	0.0766
SWEAT index	1099	-0.473	0.2234
Temp [K] of the Lifted Condensation Level	1105	-0.656	0.4306
Totals totals index	1103	-0.019	0.0004
Vertical totals index	1103	0.556	0.3092

3.3 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 40T และค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศสถานีตรวจอากาศเชียงใหม่

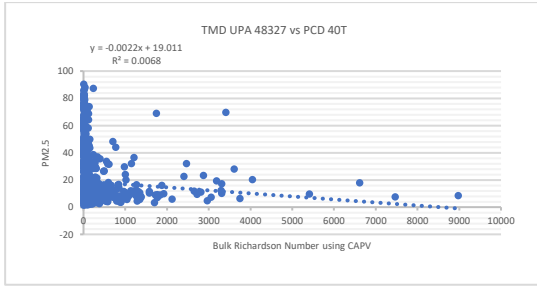
ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 40T สำนักงานการประปาส่วนภูมิภาคแม่เมาะ จังหวัดลำปาง และค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ



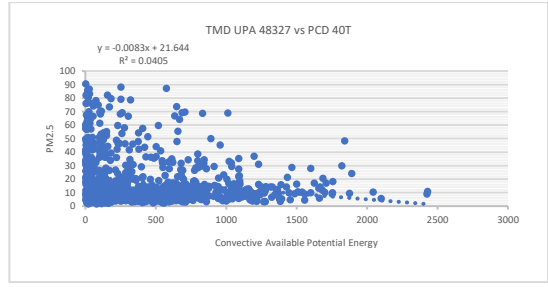
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า thickness ที่ 1000 hPa - 500 hPa



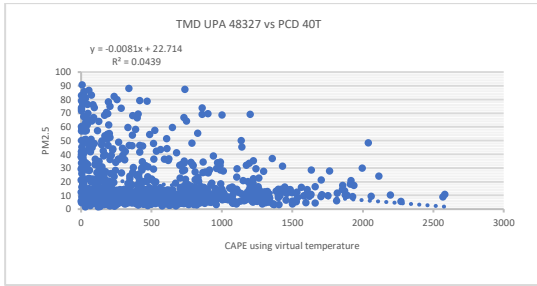
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Bulk Richardson Number



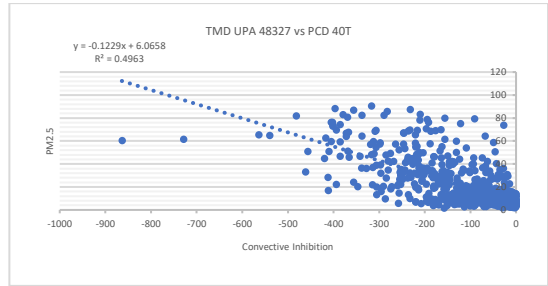
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Bulk Richardson Number ที่ได้จาก CAPV



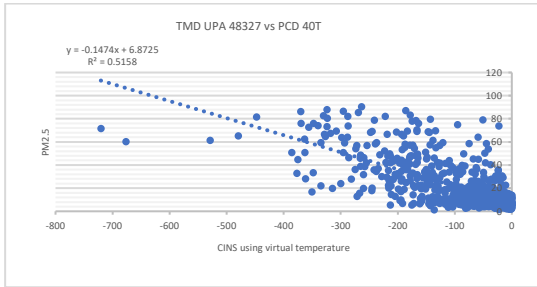
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Convective Available Potential Energy (CAPE)



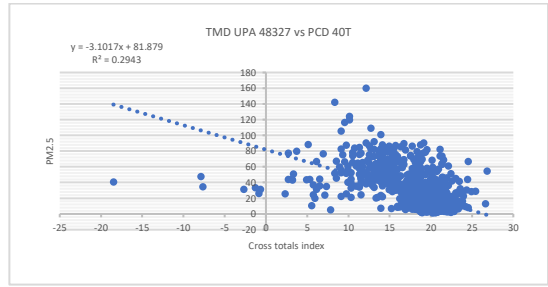
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Convective Available Potential Energy (CAPE) ที่ได้จาก virtual temperature



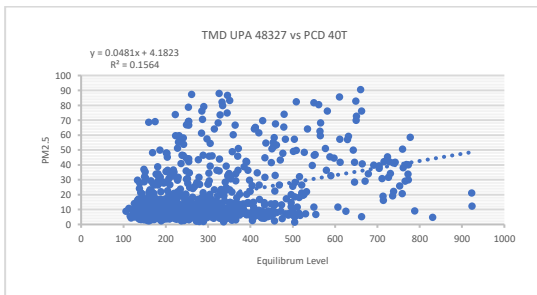
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Convective Inhibition (CIN)



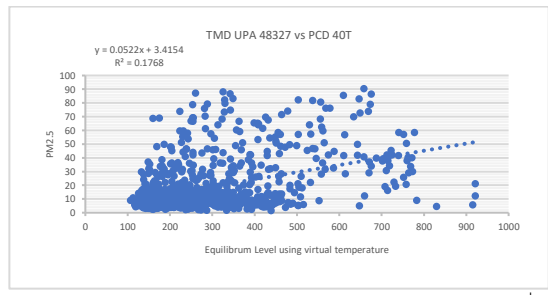
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า CINS ที่ได้จาก virtual temperature



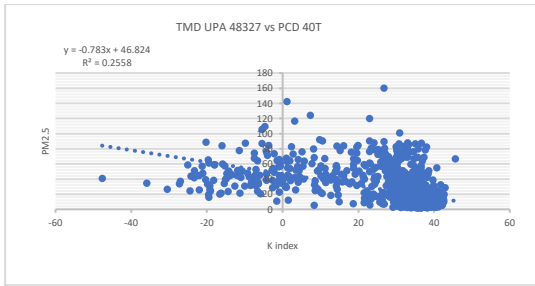
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Cross totals index



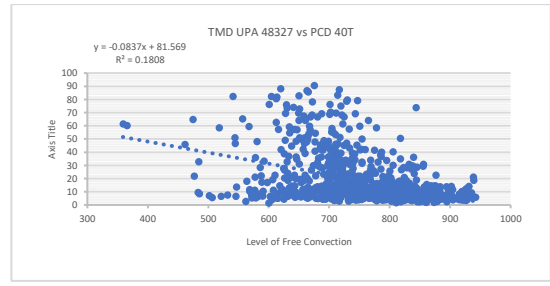
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Equilibrium Level



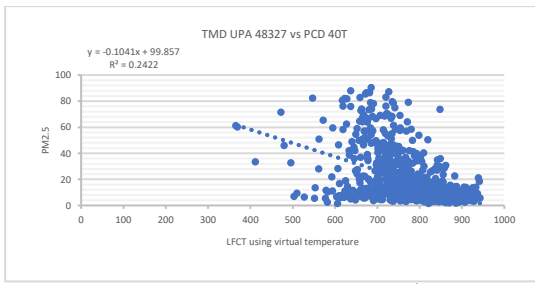
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Equilibrium Level ที่ได้จาก virtual temperature



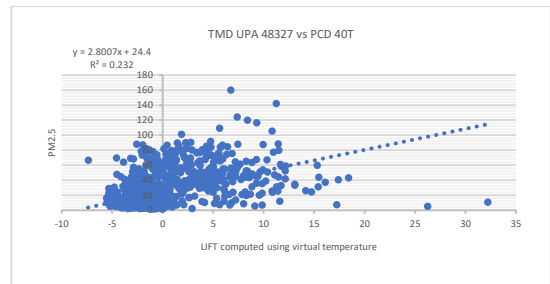
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า K index



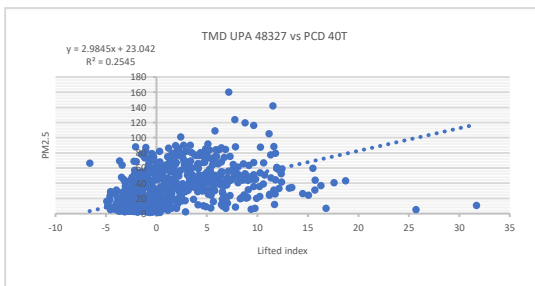
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Level of Free Convection



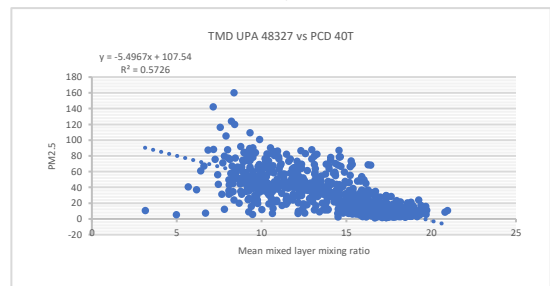
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า LFCT ที่คำนวณได้จาก virtual temperature



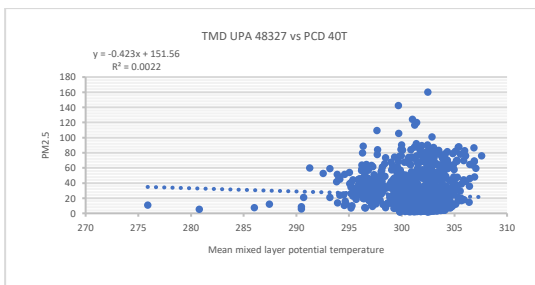
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า LIFT ที่คำนวณได้จาก virtual temperature



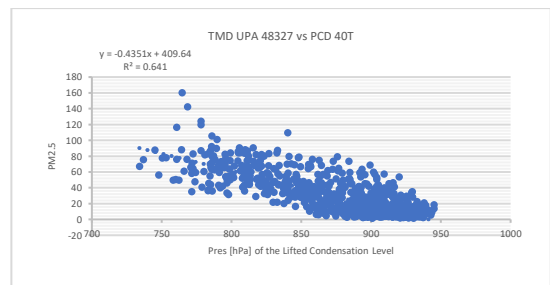
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Lifted index



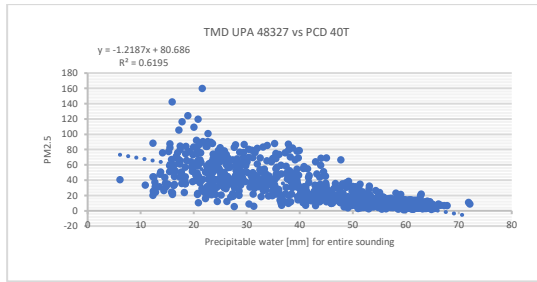
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Mean mixed layer mixing ratio



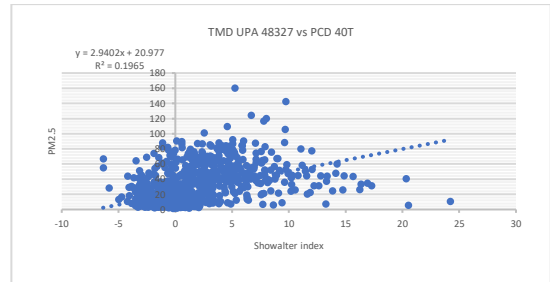
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Mean mixed layer potential temperature



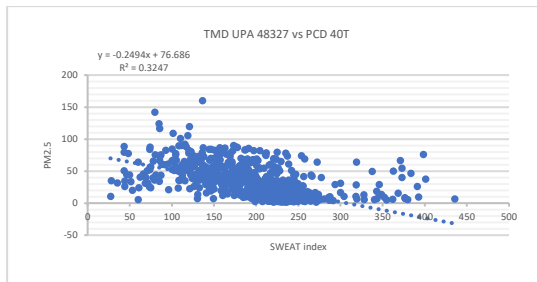
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Pres [hPa] of the Lifted Condensation Level



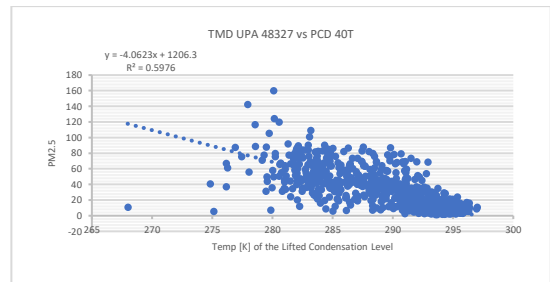
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Precipitable water [mm] for entire sounding



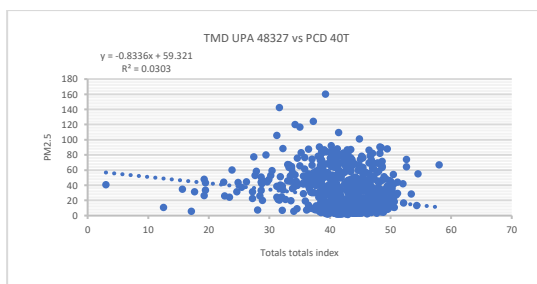
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Showalter index



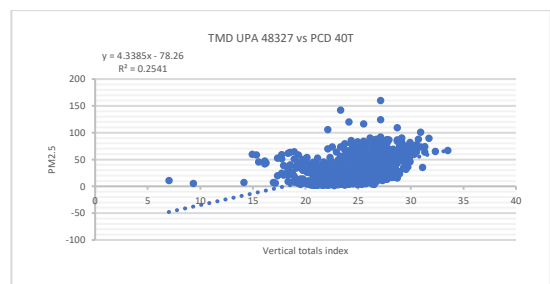
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า SWEAT index



แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Temp [K] of the Lifted Condensation Level



แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Total totals index



แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Vertical totals index

รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 40T สำนักงานการประปาส่วนภูมิภาคแม่เมาะ จังหวัดลำปาง และค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ

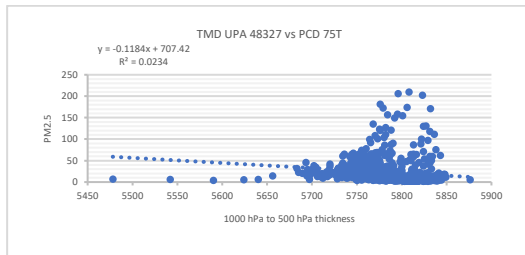
ได้สรุปค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศสถานี 48327 กับค่าฝุ่นละออง PM_{2.5} สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 40Tสำนักงานการประปาส่วนภูมิภาคแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ได้ดังตาราง

ตารางที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีการหยั่งอากาศสถานี 48327 กับค่าฝุ่นละออง PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 40T สำนักงานการประปาส่วนภูมิภาคแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

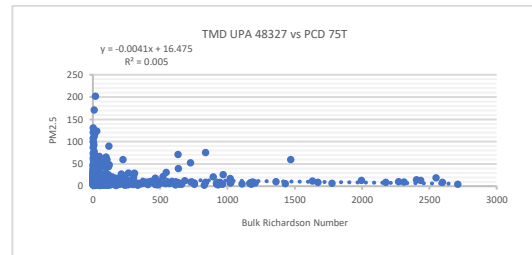
ดัชนีการหยั่งอากาศ	สถานี		
	จำนวนข้อมูล	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R)	R ²
1000 hPa to 500 hPa thickness	1120	-0.391	0.1532
Bulk Richardson Number	897	-0.082	0.0067
Bulk Richardson Number using CAPV	914	-0.083	0.0068
Convective Available Potential Energy	910	-0.201	0.0405
CAPE using virtual temperature	925	-0.209	0.0439
Convective Inhibition	895	-0.704	0.4963
CINS using virtual temperature	896	-0.718	0.5158
Cross totals index	1123	-0.543	0.2943
Equilibrium Level	908	0.396	0.1564
Equilibrium Level using virtual temperature	921	0.421	0.1768
K index	1122	-0.506	0.2558
Level of Free Convection	918	-0.425	0.1808
LFCT using virtual temperature	931	-0.492	0.2422
Lifted index	1123	0.505	0.2545
LIFT computed using virtual temperature	1124	0.482	0.232
Mean mixed layer mixing ratio	1125	-0.757	0.5726
Mean mixed layer potential temperature	1125	-0.047	0.0022
Pres [hPa] of the Lifted Condensation Level	1125	-0.801	0.641
Precipitable water [mm] for entire sounding	1125	-0.787	0.6195
Showalter index	1122	0.443	0.1965
SWEAT index	1119	-0.569	0.3247
Temp [K] of the Lifted Condensation Level	1125	-0.773	0.5976
Totals totals index	1123	-0.174	0.0303
Vertical totals index	1123	0.504	0.2541

3.4 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 75T และค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศสถานีตรวจอากาศเชียงใหม่

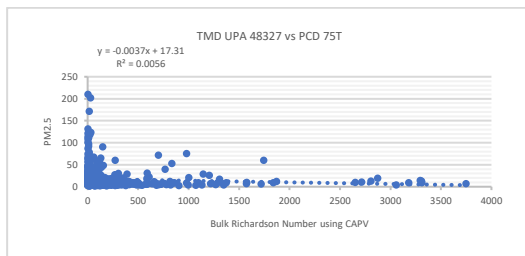
ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 75T โรงพยาบาลเฉลิมพระเกียรติ จ.น่าน และค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ



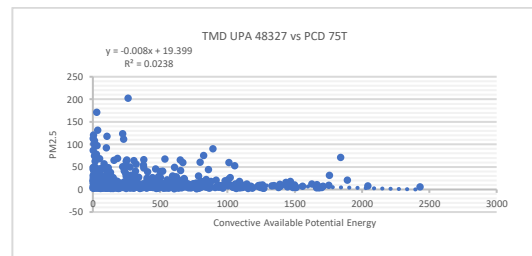
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า thickness ที่ 1000 hPa - 500 hPa



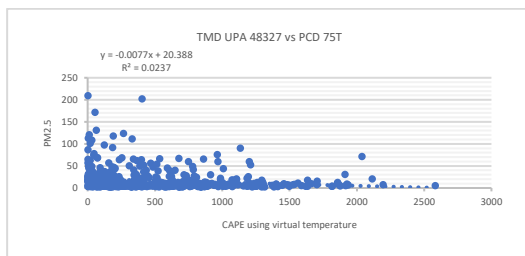
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Bulk Richardson Number



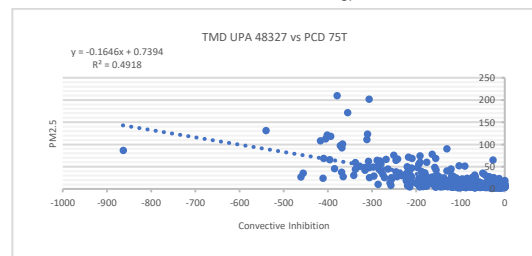
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Bulk Richardson Number ที่ได้จาก CAPV



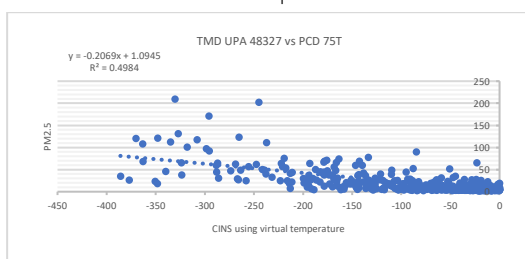
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Convective Available Potential Energy (CAPE)



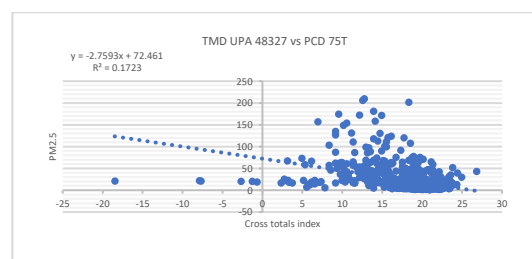
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Convective Available Potential Energy (CAPE) ที่ได้จาก virtual temperature



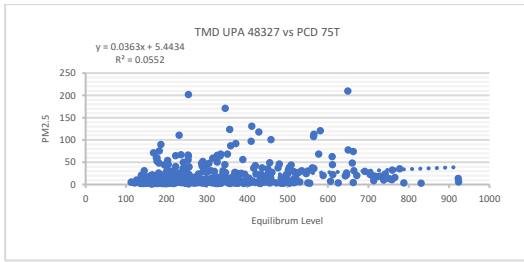
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Convective Inhibition (CIN)



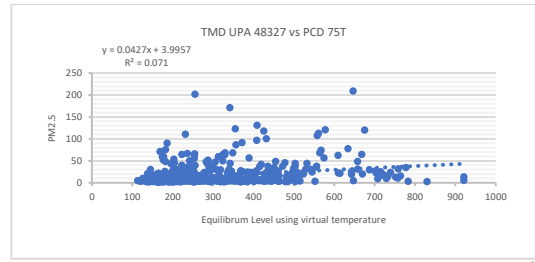
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า CINS ที่ได้จาก virtual temperature



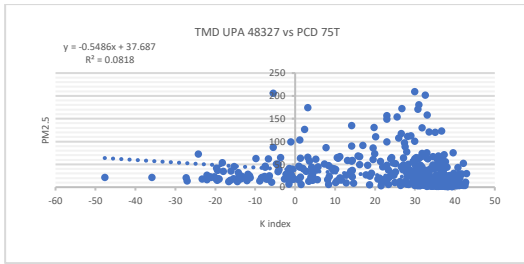
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Cross totals index



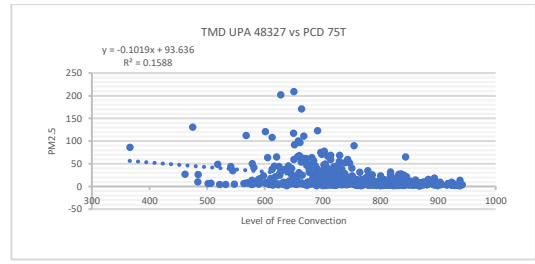
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Equilibrium Level



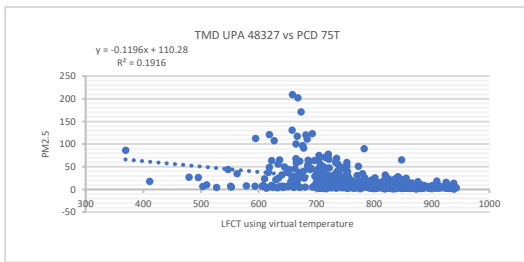
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Equilibrium Level ที่ได้จาก virtual temperature



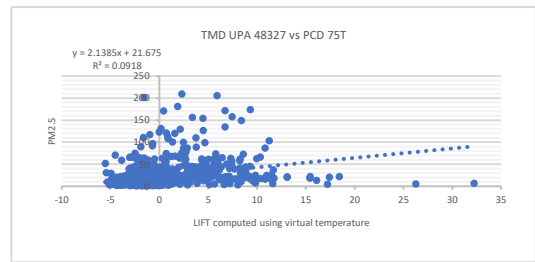
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า K index



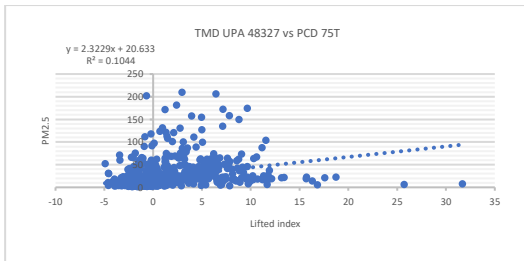
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Level of Free Convection



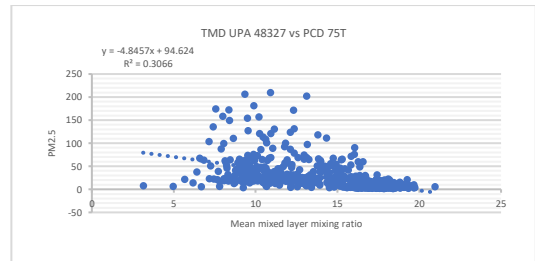
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า LFCT ที่คำนวณได้จาก virtual temperature



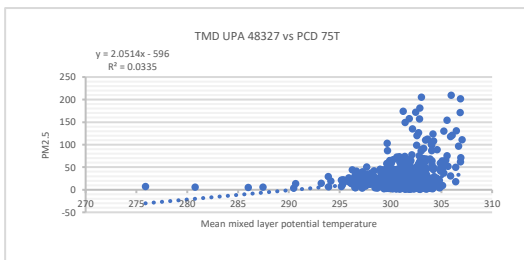
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า LIFT ที่คำนวณได้จาก virtual temperature



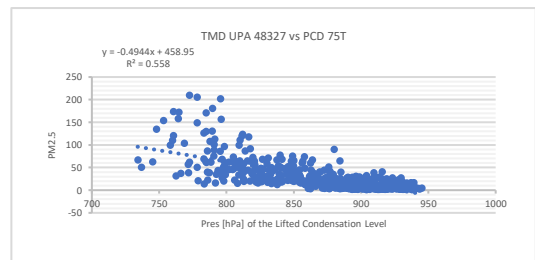
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Lifted index



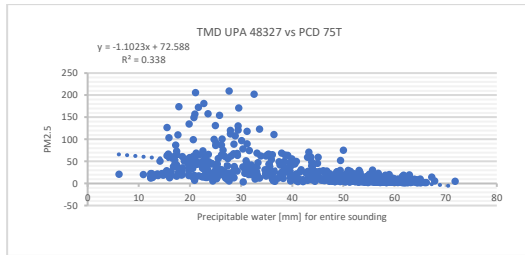
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Mean mixed layer mixing ratio



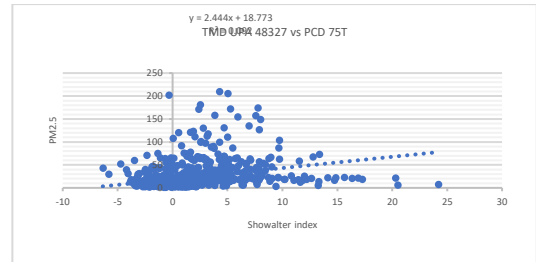
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Mean mixed layer potential temperature



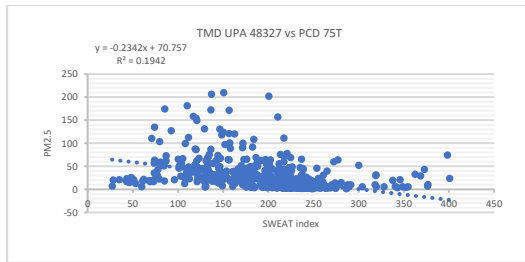
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Pres [hPa] of the Lifted Condensation Level



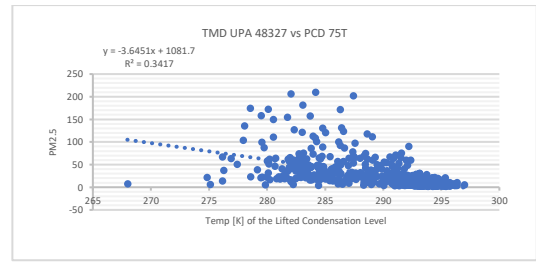
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Precipitable water [mm] for entire sounding



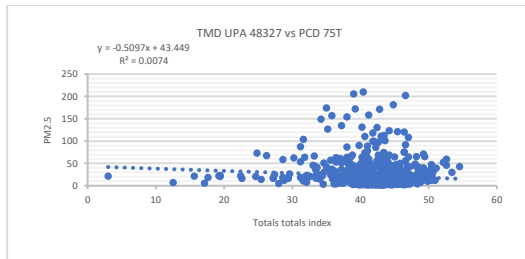
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Showalter index



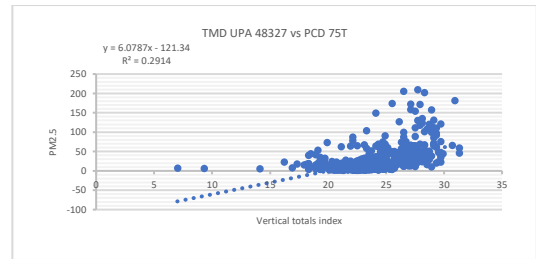
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า SWEAT index



แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Temp [K] of the Lifted Condensation Level



แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Total totals index



แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Vertical totals index

รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 75T โรงพยาบาลเฉลิมพระเกียรติ จ.น่าน และค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ

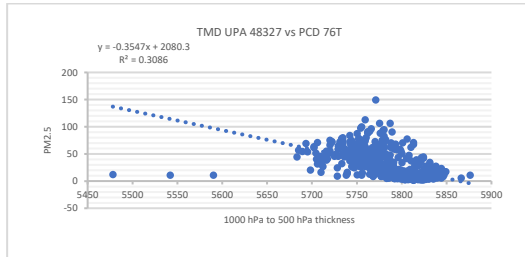
ได้สรุปค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศสถานี 48327 กับค่าฝุ่นละออง PM_{2.5} สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 75T โรงพยาบาลเฉลิมพระเกียรติ จ.น่าน ได้ดังตาราง

ตารางที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีการหยั่งอากาศสถานี 48327 กับค่าฝุ่นละออง PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 75T โรงพยาบาลเฉลิมพระเกียรติ จ.น่าน

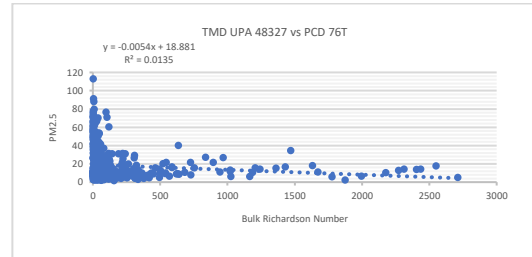
ดัชนีการหยั่งอากาศ	สถานี		
	จำนวนข้อมูล	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R)	R ²
1000 hPa to 500 hPa thickness	753	-0.153	0.0234
Bulk Richardson Number	580	-0.071	0.005
Bulk Richardson Number using CAPV	591	-0.075	0.0056
Convective Available Potential Energy	594	-0.154	0.0238
CAPE using virtual temperature	602	-0.154	0.0237
Convective Inhibition	583	-0.701	0.4918
CINS using virtual temperature	581	-0.706	0.4984
Cross totals index	756	-0.415	0.1723
Equilibrium Level	592	0.235	0.0552
Equilibrium Level using virtual temperature	597	0.266	0.071
K index	756	-0.286	0.0818
Level of Free Convection	600	-0.398	0.1588
LFCT using virtual temperature	605	-0.438	0.1916
Lifted index	757	0.323	0.1044
LIFT computed using virtual temperature	758	0.303	0.0918
Mean mixed layer mixing ratio	758	-0.554	0.3066
Mean mixed layer potential temperature	758	0.183	0.0335
Pres [hPa] of the Lifted Condensation Level	758	-0.747	0.558
Precipitable water [mm] for entire sounding	758	-0.581	0.358
Showalter index	755	0.303	0.092
SWEAT index	755	-0.441	0.1942
Temp [K] of the Lifted Condensation Level	758	-0.585	0.3417
Totals totals index	756	-0.086	0.0074
Vertical totals index	756	0.539	0.2914

3.5 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 76T และค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศสถานีตรวจอากาศเชียงใหม่

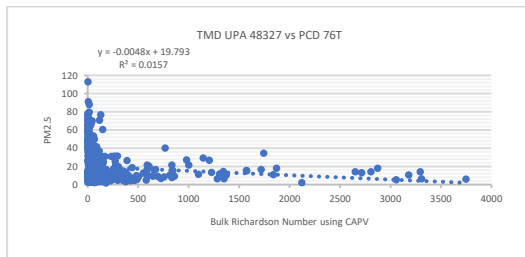
ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 76T ศูนย์การศึกษานอกโรงเรียน จ.ตาก และค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ



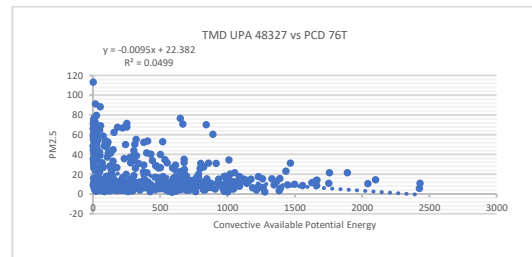
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า thickness ที่ 1000 hPa - 500 hPa



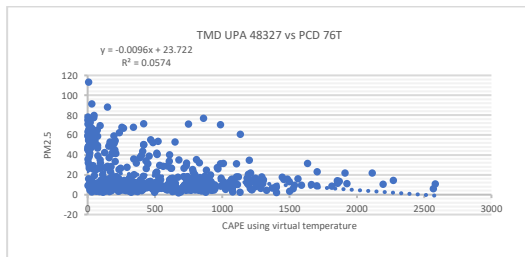
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Bulk Richardson Number



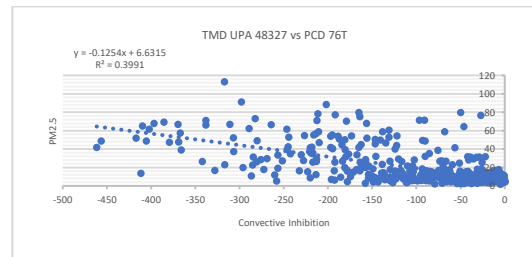
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Bulk Richardson Number ที่ได้จาก CAPV



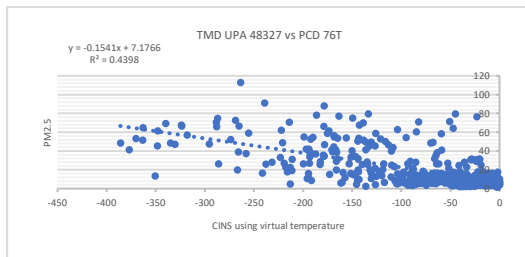
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Convective Available Potential Energy (CAPE)



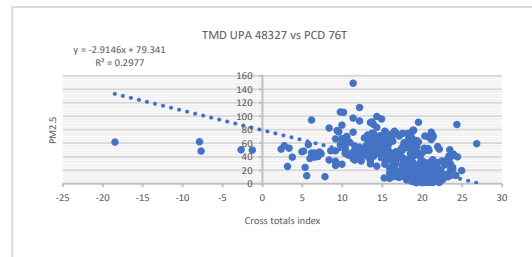
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Convective Available Potential Energy (CAPE) ที่ได้จาก virtual temperature



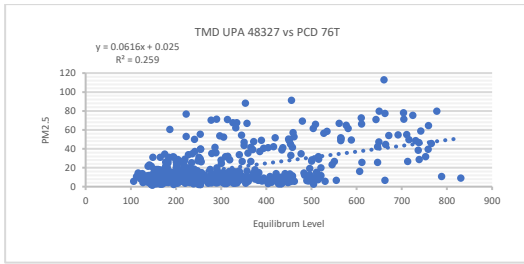
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Convective Inhibition (CIN)



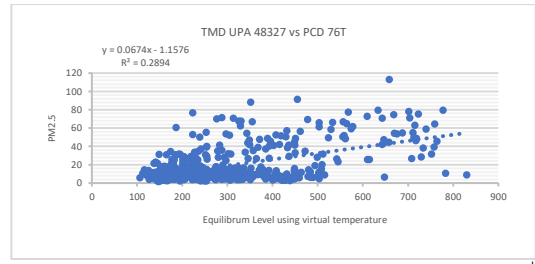
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า CINS ที่ได้จาก virtual temperature



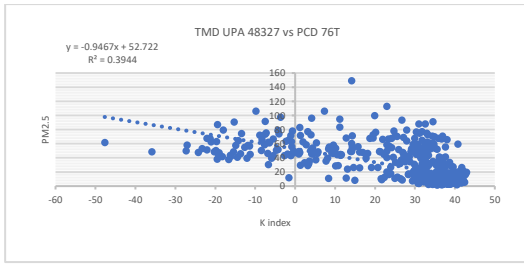
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Cross totals index



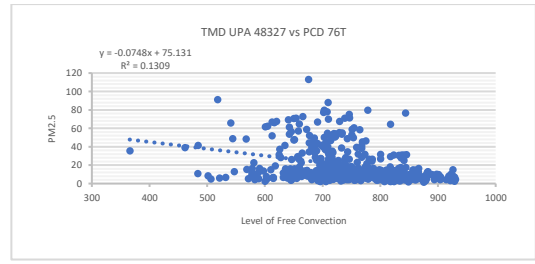
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Equilibrium Level



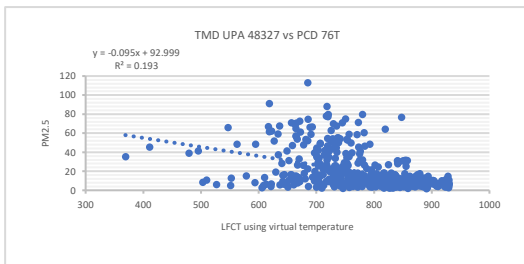
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Equilibrium Level ที่ได้จาก virtual temperature



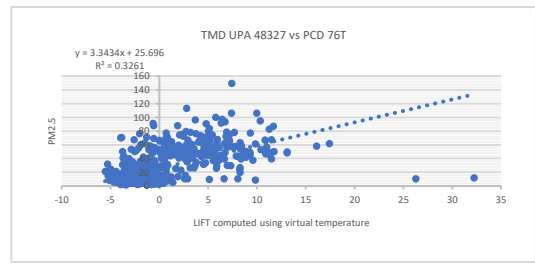
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า K index



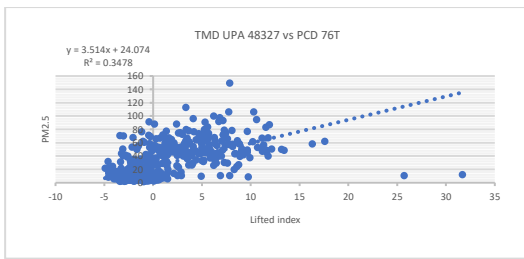
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Level of Free Convection



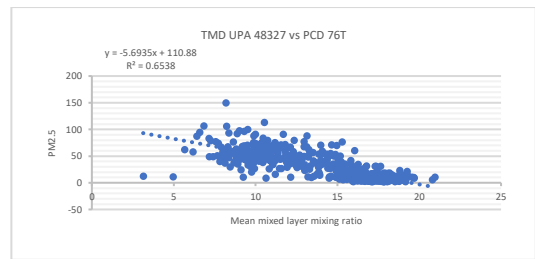
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า LFCT ที่คำนวณได้จาก virtual temperature



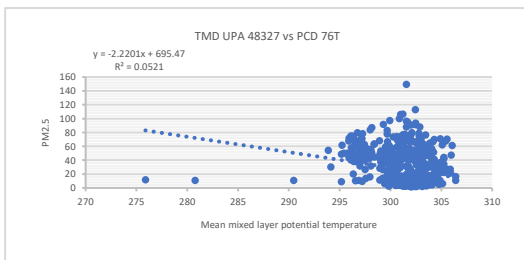
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า LIFT ที่คำนวณได้จาก virtual temperature



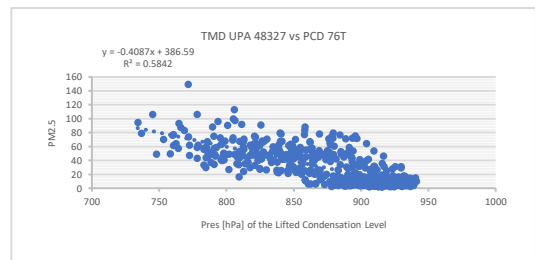
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Lifted index



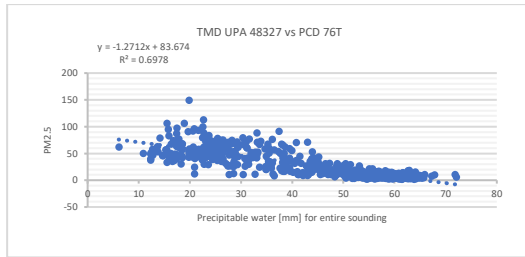
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Mean mixed layer mixing ratio



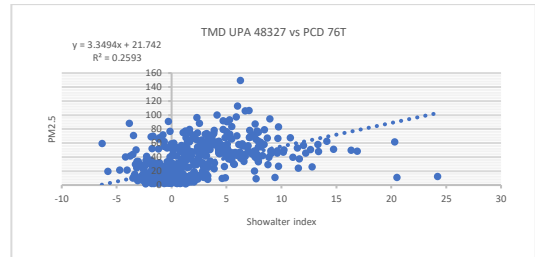
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Mean mixed layer potential temperature



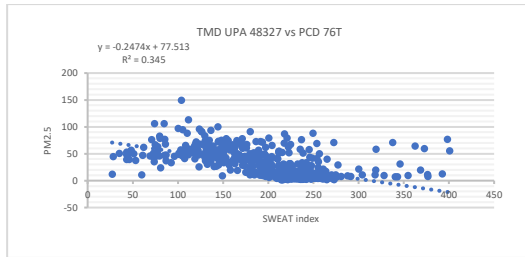
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Pres [hPa] of the Lifted Condensation Level



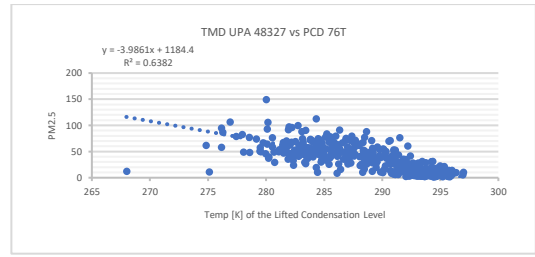
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Precipitable water [mm] for entire sounding



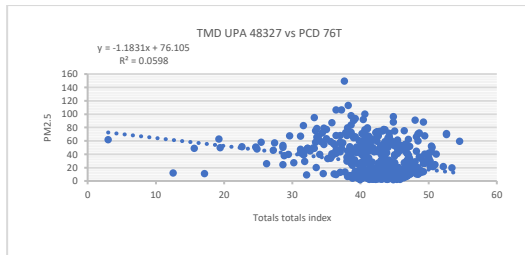
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Showalter index



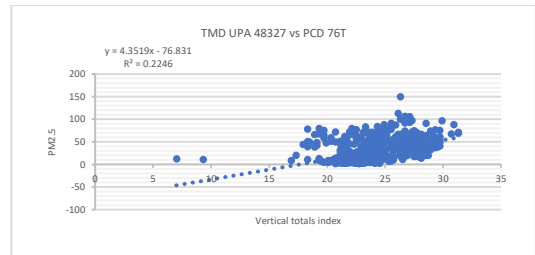
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า SWEAT index



แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Temp [K] of the Lifted Condensation Level



แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Total totals index



แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 และค่า Vertical totals index

รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 76T ศูนย์การศึกษานอกโรงเรียน จ.ตาก และค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ

ได้สรุปค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศสถานี 48327 กับค่าฝุ่นละออง PM_{2.5} สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 76T ศูนย์การศึกษานอกโรงเรียน จ.ตาก ได้ดังตาราง

ตารางที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีการหยั่งอากาศสถานี 48327 กับค่าฝุ่นละออง PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 76T ศูนย์การศึกษานอกโรงเรียน จ.ตาก

ดัชนีการหยั่งอากาศ	สถานี		
	จำนวนข้อมูล	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R)	R ²
1000 hPa to 500 hPa thickness	648	-0.556	0.3086
Bulk Richardson Number	490	-0.116	0.0135
Bulk Richardson Number using CAPV	501	-0.125	0.0157
Convective Available Potential Energy	501	-0.223	0.0499
CAPE using virtual temperature	508	-0.239	0.0574
Convective Inhibition	496	-0.632	0.3991
CINS using virtual temperature	496	-0.663	0.4398
Cross totals index	651	-0.546	0.2977
Equilibrium Level	498	0.509	0.259
Equilibrium Level using virtual temperature	503	0.538	0.2894
K index	651	-0.628	0.3944
Level of Free Convection	506	-0.362	0.1309
LFCT using virtual temperature	511	-0.439	0.193
Lifted index	653	0.589	0.3478
LIFT computed using virtual temperature	653	0.571	0.3261
Mean mixed layer mixing ratio	653	-0.809	0.6538
Mean mixed layer potential temperature	653	-0.228	0.0521
Pres [hPa] of the Lifted Condensation Level	653	-0.764	0.5842
Precipitable water [mm] for entire sounding	653	-0.835	0.6978
Showalter index	651	0.509	0.2593
SWEAT index	649	-0.587	0.345
Temp [K] of the Lifted Condensation Level	653	-0.799	0.6382
Totals totals index	651	-0.245	0.0598
Vertical totals index	651	0.474	0.2246

บทที่ 4

ข้อวิจารณ์ (Discussion)

ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดเชียงใหม่กับค่าปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) สามารถพิจารณาผลการศึกษาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

4.1 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 35T และค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศสถานีตรวจอากาศเชียงใหม่

จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อพิจารณาที่ค่าร้อยละสำคัญ 0.5 จะพบว่า ค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ Vertical totals index มีความสัมพันธ์เชิงบวก กับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) นั่นคือเมื่อค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศดังกล่าวมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

ในขณะที่ค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ ได้แก่ Convective Inhibition, CINS using virtual temperature, Mean mixed layer mixing ratio, Pres [hPa] of the Lifted Condensation Level, Precipitable water [mm] for entire sounding, SWEAT index, Temp [K] of the Lifted Condensation Level มีความสัมพันธ์เชิงลบ กับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) นั่นคือเมื่อค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศดังกล่าวมีค่าลดลง ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) จะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่ค่า Pres [hPa] of the Lifted Condensation Level จะมีค่าความสัมพันธ์แบบแปรผกผันที่ดีที่สุด คือ -0.802

ค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศอื่นๆ ที่เหลือ ถือว่ามีความสัมพันธ์กันน้อยกับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) โดยมีค่าความสัมพันธ์เข้าใกล้ค่า 0 หรือมีค่าความสัมพันธ์อยู่ระหว่าง -0.5 ถึง 0.5

4.2 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 36T และค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศสถานีตรวจอากาศเชียงใหม่

จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อพิจารณาที่ค่าร้อยละสำคัญ 0.5 จะพบว่า มีค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ Vertical totals index มีความสัมพันธ์เชิงบวกหรือแปรผันตรงกับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5)

ในขณะที่ ค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ ได้แก่ Convective Inhibition, CINS using virtual temperature, Mean mixed layer mixing ratio, Pres [hPa] of the Lifted Condensation

Level, Precipitable water [mm] for entire sounding และ Temp [K] of the Lifted Condensation Level มีความสัมพันธ์เชิงลบ หรือแปรผกผันกับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) ซึ่งค่าตัวแปร Pres [hPa] of the Lifted Condensation Level จะให้ค่าความสัมพันธ์แบบแปรผกผันที่ดีที่สุด คือมีค่าอยู่ที่ -0.774

ค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศอื่นๆ ที่เหลือ มีความสัมพันธ์กันน้อยกับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) โดยมีค่าความสัมพันธ์เข้าใกล้ค่า 0 หรือมีค่าความสัมพันธ์อยู่ระหว่าง -0.5 ถึง 0.5

4.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 40T และค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศสถานีตรวจอากาศเชียงใหม่

จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อพิจารณาที่ค่านัยสำคัญ 0.5 จะพบว่ามีค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ Vertical totals index และ Lifted index มีความสัมพันธ์เชิงบวก คือมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) มีค่า

มีค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ Convective Inhibition, CINS using virtual temperature, Cross totals index, K index, Mean mixed layer mixing ratio, Pres [hPa] of the Lifted Condensation Level, Precipitable water [mm] for entire sounding, SWEAT index, Temp [K] of the Lifted Condensation Level มีความสัมพันธ์เชิงลบ ไปในทิศทางตรงกันข้ามกับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) โดยมีความสัมพันธ์กันมากมีค่าที่น้อยกว่า -0.5 หรือค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศดังกล่าวมีค่าลดลงปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

ค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศอื่นๆ ที่เหลือ มีความสัมพันธ์กันน้อยกับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) โดยมีค่าความสัมพันธ์เข้าใกล้ค่า 0 หรือมีค่าความสัมพันธ์อยู่ระหว่าง -0.5 ถึง 0.5

ค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ Pres [hPa] of the Lifted Condensation Level มีความสัมพันธ์เชิงลบ ไปในทิศทางตรงกันข้ามกับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) โดยมีความสัมพันธ์กันมากที่สุดมีค่า -0.801

4.4 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 75T และค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศสถานีตรวจอากาศเชียงใหม่

จากผลการศึกษาพบว่า มีค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ Vertical totals index มีความสัมพันธ์เชิงบวก ไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) โดยมีความสัมพันธ์กันมากมีค่าที่มากกว่า 0.5 หรือค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศดังกล่าวมีค่าเพิ่มขึ้นปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

มีค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ Convective Inhibition, CINS using virtual temperature, Mean mixed layer mixing ratio, Pres [hPa] of the Lifted Condensation Level, Precipitable water [mm] for entire sounding, SWEAT index, Temp [K] of the Lifted Condensation Level มีความสัมพันธ์เชิงลบ ไปในทิศทางตรงกันข้ามกับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) โดยมีความสัมพันธ์กันมากมีค่าที่น้อยกว่า -0.5 หรือค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศดังกล่าวมีค่าลดลงปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

ค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศอื่นๆ ที่เหลือ มีความสัมพันธ์กันน้อยกว่าปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) โดยมีค่าความสัมพันธ์เข้าใกล้ค่า 0 หรือมีค่าความสัมพันธ์อยู่ระหว่าง -0.5 ถึง 0.5

ค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ Pres [hPa] of the Lifted Condensation Level มีความสัมพันธ์เชิงลบ ไปในทิศทางตรงกันข้ามกับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) โดยมีความสัมพันธ์กันมากที่สุดมีค่า -0.747

4.5 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM2.5 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 76T และค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ

จากผลการศึกษาพบว่า มีค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ Equilibrium Level, Equilibrium Level using virtual temperature, Lifted index, LIFT computed using virtual temperature, Showalter index มีความสัมพันธ์เชิงบวก ไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) โดยมีความสัมพันธ์กันมากมีค่าที่มากกว่า 0.5 หรือค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศดังกล่าวมีค่าเพิ่มขึ้นปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

มีค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ 1000 hPa to 500 hPa thickness, Convective Inhibition, CINS using virtual temperature, Cross totals index, K index, Mean mixed layer mixing ratio, Pres [hPa] of the Lifted Condensation Level, Precipitable water [mm] for entire sounding, SWEAT index, Temp [K] of the Lifted Condensation Level มีความสัมพันธ์เชิงลบ ไปในทิศทางตรงกันข้ามกับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) โดยมี

ความสัมพันธ์กันมากมีค่าที่มากกว่า -0.5 หรือค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศดังกล่าวมีค่าลดลงปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

ค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศอื่นๆ ที่เหลือ มีความสัมพันธ์กันน้อยกับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) โดยมีค่าความสัมพันธ์เข้าใกล้ค่า 0 หรือมีค่าความสัมพันธ์อยู่ระหว่าง -0.5 ถึง 0.5

ค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ Precipitable water [mm] for entire sounding มีความสัมพันธ์เชิงลบ ไปในทิศทางตรงกันข้ามกับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) โดยมีความสัมพันธ์กันมากที่สุดมีค่า -0.835

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ Convective Inhibition, CINS using virtual temperature, Mean mixed layer mixing ratio, Pres [hPa] of the Lifted Condensation Level, Precipitable water [mm] for entire sounding และ Temp [K] of the Lifted Condensation Level มีความสัมพันธ์เชิงลบ ไปในทิศทางตรงกันข้ามกับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) โดยมีความสัมพันธ์กันมากในทุกสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ

ค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ Pres [hPa] of the Lifted Condensation Level มีความสัมพันธ์เชิงลบ ไปในทิศทางตรงกันข้ามกับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) โดยมีค่าความสัมพันธ์มากที่สุด 4 สถานี ยกเว้นความสัมพันธ์ที่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 76T ที่มีค่าความสัมพันธ์ไม่มากที่สุด แต่ยังคงมีค่าความสัมพันธ์ที่ยังอยู่ในระดับที่มากอยู่

ค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศส่วนใหญ่ 17 ค่าจากทั้งหมด 24 ค่าที่ทำการศึกษา มีความสัมพันธ์เชิงลบไปในทิศทางตรงกันข้ามกับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) หรือค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศดังกล่าวมีค่าลดลงปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ยกเว้นค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ Equilibrium Level, Equilibrium Level using virtual temperature, Lifted index, LIFT computed using virtual temperature, Showalter index, Vertical totals index มีความสัมพันธ์เชิงบวก ไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) หรือค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศดังกล่าวมีค่าเพิ่มขึ้นปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย และยกเว้นค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ Mean mixed layer potential temperature ที่ค่าความสัมพันธ์ไม่ชัดเจนมีทั้งค่าบวกและค่าลบ และค่าน้อยเข้าใกล้ 0 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันน้อย

ดังนั้นค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ Convective Inhibition, CINS using virtual temperature, Mean mixed layer mixing ratio, Pres [hPa] of the Lifted Condensation Level, Precipitable water [mm] for entire sounding และ Temp [K] of the Lifted Condensation Level ที่มีค่าความสัมพันธ์กันมากและเป็นค่าความสัมพันธ์เชิงลบในทุกสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ จึงเป็นที่น่าสนใจในการนำไปใช้ประยุกต์งานหรือนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองเกี่ยวกับการประมาณค่าปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) ต่อไป

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

ชลิดา ตระกูลสุนทร. (ไม่ปรากฏปีพิมพ์). *สถิติเพื่อการวิจัย*. ค้นเมื่อ 22 กุมภาพันธ์ 2565. จาก สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม เว็บไซต์: <https://pws.npru.ac.th/chalida/>

ศรารัฐ ไผ่บ่ง และจายนนท์ ศรีเกตุ. (ไม่ปรากฏปีพิมพ์). *ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงผสมกับ ปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน จากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ ในพื้นที่ 9 จังหวัด ภาคเหนือ*. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์. ค้นเมื่อ 25 พฤศจิกายน 2552. จาก <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/JSTNSRU/article/view/101279/101325>

อนุชา ศรีเรืองหล้า. เจษฎา คุณงามมาก. ปวภทร ภัณฑิราวุฒิ และเกศราภรณ์ เตชะพิเชฐวณิช. (ไม่ ปรากฏปีพิมพ์). *เอกสารเผยแพร่ความรู้ Meteorological Today*. ค้นเมื่อ 22 กุมภาพันธ์ 2565. จาก กลุ่มวิจัยและพัฒนาสารสนเทศอุตุนิยมวิทยา กองบริการดิจิทัลอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา. เว็บไซต์: <http://www.rnd.tmd.go.th>

Huang, Q., Cai, X., Wang, Jian., Song, Yu., & Zhu, Tong., (2018), *Climatological study of the Boundary-layer air Stagnation Index for China and its relationship with air pollution*, Atmos. Chem. Phys., 18, 7573–7593, 2018, from <http://www.atmos-chem-phys.net/18/7573/2018/>

Sounding station parameters and indices, (n.d.), Department of Atmospheric Science, College of Engineering and Applied Science, University of Wyoming, from <http://weather.uwyo.edu/upperair/indices.html>

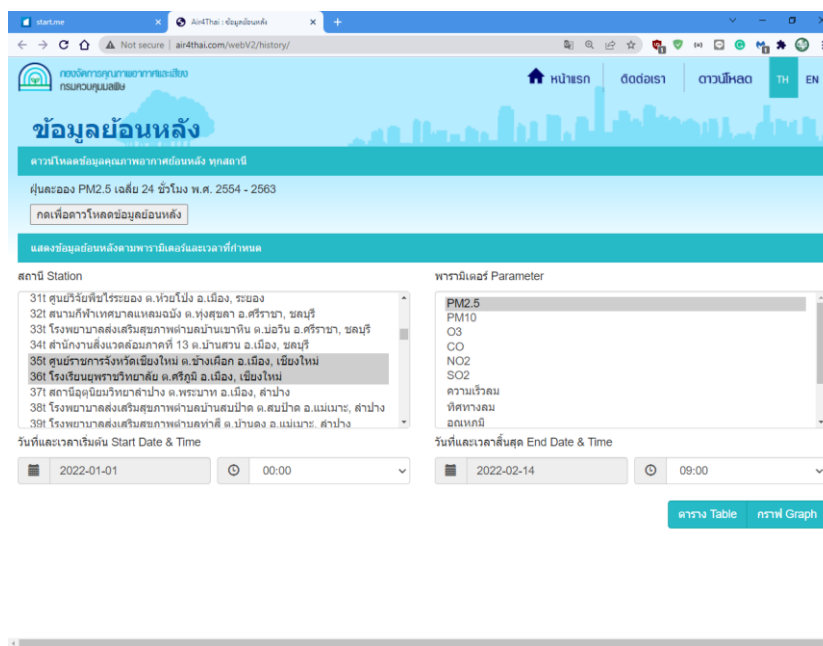
Yang, Q., Yuan, Q., Li, T., Shen H., & Zhang L., (2017), *The relationships between PM2.5 and meteorological factors in China: Seasonal and regional variations*, International Journal of Environmental Research and Public Health, from https://www.researchgate.net/publication/319210007_The_Relationships_between_PM25_and_Meteorological_Factors_in_China_Seasonal_and_Regional_Variations

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

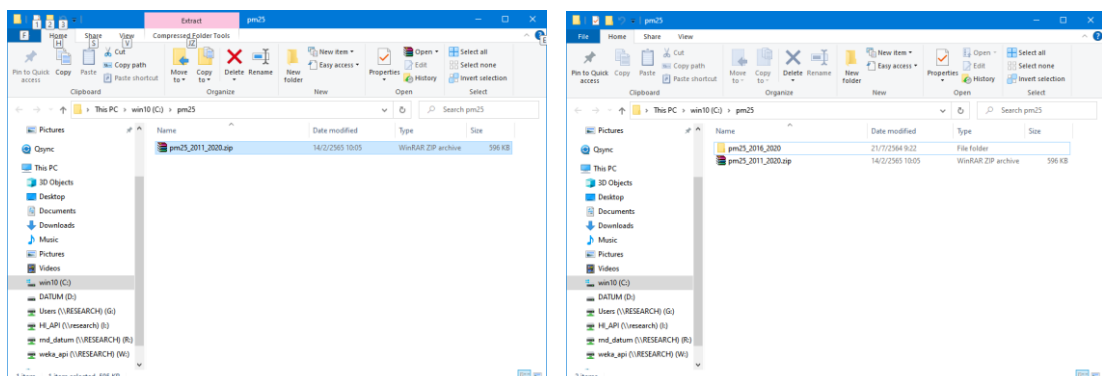
การนำเข้าข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5)

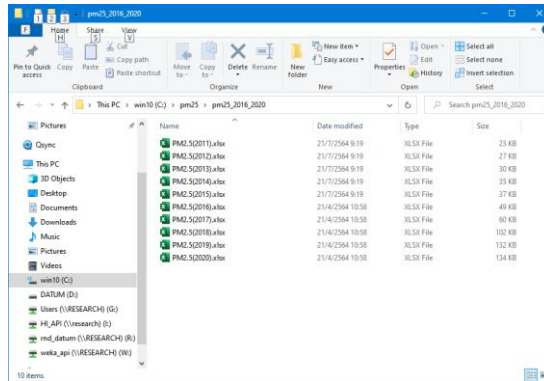
ข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) ที่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้ข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) เดิมที่มีอยู่แล้วและบางส่วนนำมาจาก เว็บไซต์ของกรมควบคุมมลพิษ (<http://www.air4thai.com/webV2/index.php>) ในหัวข้อดาวน โหลดข้อมูลคุณภาพอากาศย้อนหลัง ทุกสถานี ฝุ่นละออง PM2.5 เฉลี่ย 24 ชั่วโมง พ.ศ. 2554 – 2563 แสดงดังรูปที่ ผ1.1



รูปที่ ผ1.1 แสดงเว็บไซต์ของกรมควบคุมมลพิษ (<http://www.air4thai.com/webV2/index.php>) ที่นำเข้าสู่ข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5)

ข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) ที่ได้จากเว็บไซต์ จะอยู่ในรูปแบบไฟล์ที่ถูกบีบอัดในรูปแบบ ZIP เมื่อขยายข้อมูลที่ถูกบีบอัดออก จะเป็นแฟ้มข้อมูลใหม่ที่ภายในเป็นข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) แยกตามรายปี คศ. ในรูปแบบโปรแกรมสำเร็จรูปสเปรดชีท ดังรูปที่ ผ1.2





รูปที่ ผ1.2 แสดงรูปแบบข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) ที่จัดเก็บในไฟล์ข้อมูลที่ถูกบีบอัดไว้

ภายในแฟ้มข้อมูลในรูปแบบโปรแกรมสำเร็จรูปสเปรดชีต แต่ละปี คศ. จะเป็นแถวข้อมูลวันเดือนปี และข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) ในแต่ละสถานี แสดงดังรูปที่ ผ1.3 จึงสามารถนำข้อมูลไปใช้ในกระบวนการถัดไป เช่น การวิเคราะห์ข้อมูล และการทำความสะอาดข้อมูล

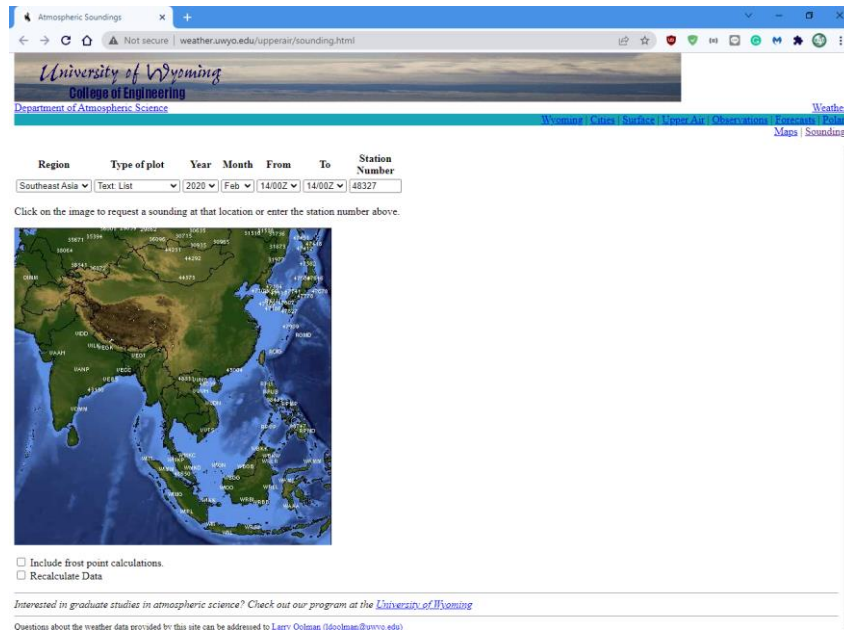
#	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	Date	S02	S01	S10	S11	S12	S17	S19	S20	S03	S05	S07	S08	S13	S14	S15	S16
2	1/1/2020	20	22	18	23	17	20	20	21	22	21	21	23	28	29	20	16
3	2/1/2020	26	24	20	26	21	24	26	28	27	27	28	30	32	25	28	22
4	3/1/2020	32	28	24	31	24	27	32	32	29	33	30	36	38	30	33	27
5	4/1/2020	37	35	31	35	35	34	37	38	39	39	35	44	48	35	43	36
6	5/1/2020	45	41	33	40	36	38	42	51	44	45	40	46	56	39	53	44
7	6/1/2020	51	49	39	46	49	40	46	62	50	52	45	52	63	45	66	43
8	7/1/2020	51	57	39	47	45	38	57	64	52	53	57	64	66	48	71	45
9	8/1/2020	53	64	47	53	52	49	60	58	55	55	59	63	76	49	59	53
10	9/1/2020	60	55	47	49	49	47	53	74	56	63	56	70	67	60	61	51
11	10/1/2020	97	100	63	72	78	70	78	96	92	101	77	102	112	92	94	86
12	11/1/2020	46	46	35	46	35	42	47	57	49	49	46	65	55	47	61	37
13	12/1/2020	36	37	26	35	33	33	38	38	39	39	38	55	47	42	40	27
14	1/1/2021	33	33	26	36	33	30	34	39	42	39	38	45	47	40	41	31
15	2/1/2021	34	36	27	35	30	29	35	42	37	34	38	47	44	37	44	30
16	3/1/2021	35	38	30	37	31	31	39	45	39	36	38	49	45	40	45	30
17	4/1/2021	37	41	33	39	37	37	40	47	42	38	42	56	47	40	40	35
18	5/1/2021	45	46	36	47	43	42	47	58	50	45	48	60	54	51	56	36
19	6/1/2021	58	58	48	55	52	52	55	59	59	54	56	79	64	61	63	46
20	7/1/2021	56	58	50	56	53	52	57	58	58	55	56	74	65	59	57	45
21	8/1/2021	64	60	54	61	58	56	62	72	65	64	63	76	73	66	n/a	56
22	9/1/2021	46	47	45	50	45	45	53	55	51	45	56	72	55	54	n/a	46
23	10/1/2021	41	36	32	39	32	32	41	45	43	39	43	53	39	44	45	36
24	11/1/2021	35	35	26	35	32	33	40	46	38	34	35	51	40	38	44	30
25	12/1/2021	24	21	18	27	24	24	26	30	27	22	21	43	27	25	28	16
26	1/1/2022	21	18	15	21	17	16	20	21	17	16	30	23	20	17	14	
27	2/1/2022	17	12	11	15	13	15	19	23	19	15	12	25	19	18	23	13
28	3/1/2022	21	20	14	20	21	19	23	29	24	23	19	27	28	22	36	20
29	4/1/2022	34	26	18	27	25	26	26	40	35	33	29	43	36	33	41	26
30	5/1/2022	30	27	22	30	24	29	33	39	35	31	30	39	34	36	46	26
31	6/1/2022	37	37	28	35	35	29	37	41	38	33	34	42	44	38	47	35
32	7/1/2022	45	45	34	46	44	45	46	43	46	42	44	47	51	46	51	43
33	8/1/2022	61	60	43	58	57	55	61	63	64	60	60	72	72	66	71	63
34	9/1/2022	60	60	53	58	58	58	62	62	63	57	65	73	72	62	72	54
35	10/1/2022	53	54	45	58	48	40	n/a	55	55	49	56	70	62	57	54	43
36	11/1/2022	44	42	33	43	40	44	46	49	45	41	42	56	50	45	50	37
37	12/1/2022	32	29	25	32	27	31	31	39	34	29	32	43	35	35	36	24

รูปที่ ผ1.3 แสดงรูปแบบข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) ที่จัดเก็บในรูปแบบโปรแกรมสำเร็จรูปสเปรดชีต

ภาคผนวก ข.

การนำเข้าข้อมูลค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ

ข้อมูลค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่(48327) ได้นำเข้าข้อมูลจากเว็บไซต์ของมหาวิทยาลัย Wyoming คณะ ENGINEERING AND APPLIED SCIENCE ภาควิชา ATMOSPHERIC SCIENCE ที่ <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> ดังรูปที่ ผ 2.1



รูปที่ ผ2.1 แสดงเว็บไซต์ <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> ที่นำเข้าข้อมูลค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่(48327)

เลือกนำเข้าข้อมูลในรูปแบบ text ไฟล์ และเลือก วัน เดือน ปี และสถานีที่ต้องการข้อมูล จะได้ข้อมูลที่ต้องการแสดงดังรูปที่ ผ2.2

Station information and sounding indices

Station identifier: VTCC
 Station number: 48327
 Observation time: 200204/0000
 Station latitude: 18.78
 Station longitude: 98.98
 Station elevation: 114.0
 Showalter index: 12.77
 Lifted: 12.21
 LIFT computed using virtual temperature: 12.86

รูปที่ ผ2.2 แสดงข้อมูลที่ได้จาก แสดงข้อมูลค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ

ทำการสำรวจวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มาและทำการจัดรูปแบบให้อยู่ในรูปแบบ csv โดยการเขียนโปรแกรมภาษาไพทอน และการใช้ชุดคำสั่งเซลล์สคริปท์ เพื่อที่จะได้มีความสะดวกในนำไปใช้ในกระบวนการถัดไป เช่น การทำความสะอาดข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล

รูปที่ ผ1.3 แสดงรูปแบบข้อมูลค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่(48327) ที่จัดเก็บในรูปแบบ csv