รายงานการจัดการองค์ความรู้(Knowledge Management-KM)

เรื่อง

การศึกษาการประมาณค่าความสูงของฐานเมฆจากอุณหภูมิผิวพื้น

โดย คณะทำงานเพื่อจัดการองค์ความรู้ของส่วนอากาศการบินตาก

กลุ่มงานอากาศการบินแม่สอด และส่วนอากาศการบินสุโขทัย

ปี พ.ศ.2565

การศึกษาการประมาณค่าความสูงของฐานเมฆจากอุณหภูมิผิวพื้น

คณะทำงาน

1. นางสาวประภาศรี	อุดใจ	นักอุตุนิยมวิทยา สกบ.ตาก	หัวหน้าคณะทำงาน
2. นางสาวจุฑาพัณณ์	วรรณสัย	นักอุตุนิยมวิทยา สกบ.ตาก	ผู้ทำงาน
3. นายดำรงศักดิ์	ถมยา	นักอุตุนิยมวิทยา กกบ.แม่สอด	ผู้ทำงาน
4. นายณัฐพล	ยศใจ	นักอุตุนิยมวิทยา กกบ.แม่สอด	ผู้ทำงาน
5. นางสาวนีรนุช	เสนคำวงศ์	นักอุตุนิยมวิทยา กกบ.แม่สอด	ผู้ทำงาน
6. นายธนาวัฒน์	บุญซาว	นักอุตุนิยมวิทยา สกบ.สุโขทัย	ผู้ทำงาน
7. นางสาวปรีญามนต์	คำแก้ว	นักอุตุนิยมวิทยา สกบ.สุโขทัย	เลขานุการ
8. นางสาวชญานิษฐ์	เมืองสง	นักอุตุนิยมวิทยา สกบ.ตาก	เลขานุการ

คำนำ

คณะทำงานเพื่อจัดการองค์ความรู้ของส่วนอากาศการบินตาก กลุ่มงานอากาศการบินแม่สอด และส่วนอากาศการบินสุโขทัย ได้ดำเนินการจัดทำกิจกรรมแลกเปลี่ยน เรียนรู้ (KM) เรื่อง การศึกษาการประมาณค่าความสูงของฐานเมฆจากอุณหภูมิผิวพื้น เพื่อทดสอบการประมาณค่าความสูงของฐานเมฆโดยใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากเครื่องมือตรวจวัดความสูงของเมฆอัตโนมัติของสนามบินแม่สอด อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก และเพื่อใช้เป็นแหล่งข้อมูลสำรองในการออกข่าวอากาศการบิน หากผลการศึกษามีความสัมพันธ์อยู่ในระดับที่ยอมรับได้

ทางคณะทำงาน ขอขอบคุณบุคลากรของส่วนอากาศการบินจังหวัดในสังกัดศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือทุกท่าน ที่ช่วยมีส่วนร่วมให้คำแนะนำและผลักดันให้กิจกรรมแลกเปลี่ยนเรียนรู้ประสบผลสำเร็จไปด้วยดี

คณะทำงานเพื่อจัดการองค์ความรู้
ส่วนอากาศการบินตาก
กลุ่มงานอากาศการบินแม่สอด
ส่วนอากาศการบินสุโขทัย

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการประยุกต์ใช้เอกสารวิชาการ เรื่องการประมาณค่าความสูงของฐานเมฆจากอุณหภูมิผิวพื้น ของสุรางคนา จงสวัสดิ์ เพื่อทดสอบการประมาณค่าความสูงของฐานเมฆโดยใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากเครื่องมือตรวจวัดความสูงของเมฆอัตโนมัติของสนามบินแม่สอด อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ.2562 - เดือนธันวาคม พ.ศ.2564 จากการศึกษาพบว่า เมื่อใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของสนามบินแม่สอดมาคำนวณหาค่าความสูงของฐานเมฆโดยใช้สมการประมาณค่าความสูงของฐานเมฆ และนำมาหาความสัมพันธ์กับค่าความสูงของฐานเมฆที่ตรวจวัดได้จริง พบว่ามีค่าความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญอยู่ในระดับต่ำ โดยมีค่าความสัมพันธ์มากสุดในช่วงฤดูฝน โดยมีความสัมพันธ์กัน 20.9% รองลงมาคือในช่วงฤดูร้อน โดยมีความสัมพันธ์กัน 10.0% และน้อยสุดในช่วงฤดูหนาว โดยมีความสัมพันธ์กัน 6.4% และเมื่อทดสอบสมการโดยไม่แบ่งแยกข้อมูลตามฤดูกาล พบว่ามีความสัมพันธ์กัน 1.6% ซึ่งถือว่าไม่มีนัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากจำนวนข้อมูลที่นำมาทดสอบยังมีจำนวนน้อย และลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนของสนามบินแม่สอด และสนามบินสุวรรณภูมิ ส่งผลให้ค่าคงที่ในสมการประมาณค่าความสูงของฐานเมฆของแต่ละสนามบินควรมีค่าที่แตกต่างกัน

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตในการศึกษา	1
1.3 เนื้อหาของเรื่องที่เคยมีผู้ทำการศึกษามาก่อน	1
1.4 ทฤษฎีและ/หรือแนวคิดที่นำมาใช้ในการศึกษา	2
1.5 วิธีดำเนินการศึกษาโดยสรุป	17
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	17
บทที่ 2 ข้อมูลและวิธีการดำเนินการศึกษา	18
2.1 ข้อมูล	18
2.2 วิธีดำเนินการศึกษา	18
บทที่ 3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	19
3.1 การวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์	19
3.2 การวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อน	26
บทที่ 4 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	27
4.1 สรุปผลการรวบรวมข้อมูล	27
4.2 ข้อเสนอแนะ	28
บรรณานุกรม	29

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1 ตารางความถูกต้องในการตรวจวัดที่ยอมรับได้ในทางปฏิบัติ 26

2 ตารางสรุปค่าสหสัมพันธ์ระหว่างความสูงของฐานเมฆที่ได้จากสมการ 27

กับค่าความสูงของฐานเมฆที่ตรวจจากเครื่องมือตรวจวัดความสูงของเมฆอัตโนมัติ

สารบัญภาพ

รูปภาพที่ **หน้า**

1 แสดงเทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้วัดอุณหภูมิตุ้มแห้ง – อุณหภูมิตุ้มเปียก 3

2 แสดงลักษณะรูปแบบของเมฆชนิดต่าง ๆ 10 สกุล ที่แบ่งออกเป็น 3 วงศ์ (Families) ตามระดับความสูงของฐานเมฆ 5

3 แสดงหน้าจอ AWOS แสดงความสูงของฐานเมฆ 8

4 แสดงจำนวนของเมฆเข้ารหัสกรุ๊ปเมฆแบบพิเศษ : FEW020 FEW030CB SCT035 8

5 แสดงการทำงานของ Typical Laser Ceilometer 9

6 แสดงระดับ LCL บนแผนภูมิเทอร์โมไดนามิคส์ แบบสกิวที/ลอการิทึมพี 11

7 แสดงลักษณะทางภูมิศาสตร์ของอำเภอแม่สอด 13

8 แสดงที่ตั้งของสนามบินแม่สอด 15

9 แสดงรายละเอียดทางวิ่งของสนามบินแม่สอด 16

บทที่1

1.บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในการรายงานข่าวอากาศการบิน จำนวนและความสูงของฐานเมฆ เป็นสารประกอบอุตุนิยมวิทยาหนึ่งที่ต้องทำการรายงาน โดยปกติข้อมูลนำเข้าความสูงของฐานเมฆจะเป็นการสังเกตด้วยสายตาของผู้ทำการตรวจอากาศซึ่งมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากระยะใกล้ไกลจากจุดอ้างอิงระดับความสูงได้ และในสนามบินที่มีระบบตรวจอากาศอัตโนมัติ (AWOS) จะมีเครื่องมือในการอ่านระดับความสูงของฐานเมฆ ซึ่งจะมีความแม่นยำกว่าข้อมูลนำเข้าที่ได้จากการสังเกตด้วยสายตา

การลดลงของความสูงของเพดานเมฆผ่านค่าที่กำหนด มีผลต่อการวิเคราะห์และประเมินความปลอดภัยในการดำเนินงานเครื่องอำนวยความสะดวกในการเดินอากาศของสนามบิน และการวางแผนการบินของนักบิน เนื่องจากมีผลต่อการมองเห็นจึงกำหนดว่านักบินสามารถใช้ Visual Flight Rules (VFR) หรือต้องปฏิบัติตาม Instrument Flight Rules (IFR) แทน ซึ่งมีผลต่อความปลอดภัยของการเดินอากาศ ในกรณีที่เครื่องมืออัตโนมัติขัดข้อง หรือไม่มีเครื่องมือตรวจวัดอัตโนมัติ จึงมีความสำคัญที่ควรมีแหล่งข้อมูลสำรองในการนำเข้าค่าความสูงของฐานเมฆที่มีความถูกต้อง และอยู่ในเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตในการศึกษา

1.2.1 วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาเอกสารวิชาการ เรื่องการประมาณค่าความสูงของฐานเมฆจากอุณหภูมิผิวพื้นของสุราง-คณา จงสวัสดิ์ และนำมาทดสอบหาความสัมพันธ์ทางสถิติกับข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาของสนามบินแม่สอด

2) เพื่อใช้เป็นแหล่งข้อมูลสำรองในการออกข่าวอากาศการบิน หากผลการศึกษามีความสำพันธ์อยู่ในระดับที่ยอมรับได้

1.2.2 ขอบเขตในการศึกษา

สนามบินแม่สอด โดยประกอบด้วยข้อมูลอุตุนิยมวิทยารายชั่วโมงจากระบบตรวจอากาศอัตโนมัติที่ติดตั้งบนทางวิ่ง 09 และ 27 ตั้งแต่ เดือนธันวาคม พ.ศ.2562 – ธันวาคม พ.ศ.2564

1.3 เนื้อหาของเรื่องที่เคยมีผู้ทำการศึกษามาก่อน

[1] สุรางคณา จงสวัสดิ์ ทำการศึกษาเพื่อหาสมการความสูงของฐานเมฆเพื่อประยุกต์ใช้ในกรณีที่บริเวณนั้นไม่มีเครื่องมือสำหรับตรวจความสูงของฐานเมฆ โดยนำข้อมูลผิวพื้นของค่าอุณหภูมิและอุณหภูมิจุด

น้ำค้าง บริเวณท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ระหว่างปี พ.ศ. 2550-2553 มาคำนวณหาค่า Cloud Base จากสมการความสูงของฐานเมฆของ Willits, Pat, ed : Cloud Base = ((Temperature - Dew point) / 4.4) * 1000) และนำมาทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า Cloud Base ที่ได้จากสมการกับผลการตรวจวัดความสูงของฐานเมฆจากเครื่องมืออัตโนมัติ โดยมีค่าสหสัมพันธ์คือ 0.55 ถือมีค่าความสัมพันธ์ปานกลาง จากนั้นนำข้อมูลความสูงของฐานเมฆที่ระดับความสูง 2,000-3,000 ฟุต กับข้อมูลอุณหภูมิและอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ซึ่งเป็นระดับที่มีผลกระทบต่อการยกตัวขึ้น-ลงจอดของเครื่องบิน มาหาค่าความสัมพันธ์โดยวิธีทางสถิติ โดยให้ค่าสหสัมพันธ์สัมพันธ์ 0.608 และ 0.255 ตามลำดับ และจึงนำมาหาสมการถดถอยพหุคูณ (R-square) โดยใช้ผลการตรวจวัดความสูงของฐานเมฆจากเครื่องมืออัตโนมัติที่ความสูง 2,000-3,000 ฟุต กับข้อมูลอุณหภูมิผิวพื้นและอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ซึ่งแสดงถึงอิทธิพลของตัวแปรอิสระที่มีต่อตัวแปรตามร้อยละ 56.3 และนำข้อมูลทั้งสามมาหาสมการความสัมพันธ์ โดยสามารถเขียนรูปแบบของสมการได้ดังสมการ **Cloud Base (Ft) = 4170.064 + 148.337 (Temp) -1324.605√Td**

[2] ชูเกียรติ ไทยจรัสเสถียร ได้มีการศึกษาวิธีการประมาณค่าความสูงของฐานเมฆที่เหมาะสมจากสมการสูตรสำเร็จเพื่อสนับสนุนการพยากรณ์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการนำค่าความสูงของฐานเมฆที่สถานีอุตุนิยมวิทยาดอนเมืองจากผลการตรวจวัดด้วยสายตา ในการทดสอบสมการจาก รังสรรค์ อาภาคัพภะกุล (2547) , สมการของ Peggy (2007), Donald (2007),Ross (2004) และองค์การบริหารสมุทรศาสตร์และบรรยากาศแห่งชาติ (NOAA/Prediction) โดยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนตามหลักการของสถิติ พบว่าค่าของสมการสูตรสำเร็จให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน และผลการตรวจวัดด้วยสายตากับสูตรของสมการทั้ง 5 มีความสัมพันธ์กันอย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01

1.4 ทฤษฎีและ/หรือแนวคิดที่นำมาใช้ในการศึกษา

1.4.1 อุณหภูมิ

[1] อุณหภูมิ คือ ปริมาณที่บ่งบอกระดับความร้อนหนาวของอากาศ วัดได้จากเครื่องมือที่เรียกว่าเทอร์โมมิเตอร์ที่มีหน่วยวัด เป็นองศาเซลเซียส หรือองศาฟาเรนไฮต์ เป็นต้น

1.4.2 อุณหภูมิจุดน้ำค้าง

[1] อุณหภูมิจุดน้ำค้าง คือ อุณหภูมิ ณ จุดที่อากาศเริ่มกลั่นตัวเป็นน้ำค้างเมื่ออากาศเย็นตัวลง ค่าของอุณหภูมิจุดน้ำค้างจะเปลี่ยนแปลงไปตามความชื้นจำเพาะ

1.4.3 การตรวจวัดอุณหภูมิอากาศ

การวัดอุณหภูมิอากาศโดยเทอร์โมมิเตอร์จะถูกติดตั้งอยู่ภายในตู้สกรีน ซึ่งภายในเทอร์โมมิเตอร์จะบรรจุของเหลว ที่ใช้กันแพร่หลายก็คือ ปรอท ซึ่งหลักการง่าย ๆ ในการวัดอุณหภูมิก็โดยอาศัยการหดหรือ

ขยายตัวของปรอทภายในกระเปาะนั่นเอง การวัดอุณหภูมิอากาศปกติ ซึ่งจะเรียกว่า อุณหภูมิตุ้มแห้ง (dry-bulb temperature) ยังมีการตรวจวัดอุณหภูมิที่เรียกว่า อุณหภูมิตุ้มเปียก (wet-bulb temperature) ซึ่งจะมีการหุ้มด้วยผ้ามัสลินปลายกระเปาะเทอร์โมมิเตอร์และที่ปลายของผ้าอีกด้านหนึ่งจะจุ่มอยู่ในน้ำตลอดเวลา ดังนั้นอุณหภูมิที่วัดจะเป็นอุณหภูมิอากาศในขณะที่มีความชื้นอิ่มตัวตลอดเวลา จากการตรวจอุณหภูมิทั้งสอง ทำให้สามารถนำไปคำนวณหาความชื้นสัมพันธ์ในอากาศได้ต่อไป รูปที่ 1 เทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้วัดอุณหภูมิตุ้มแห้ง – อุณหภูมิตุ้มเปียก

รูปที่ 1 แสดงเทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้วัดอุณหภูมิตุ้มแห้ง – อุณหภูมิตุ้มเปียก

ที่มา : ส่วนอากาศการบินตาก ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ กรมอุตุนิยมวิทยา

1.4.4 เมฆ (Cloud)

[7] เมฆ เกิดจากการรวมตัวหรือเกาะกลุ่มของไอน้ำ น้ำแข็งผลึกหรือทั้งสองผสมกัน มีความสูงของฐานที่พื้นผิวดิน ซึ่งสามารถตรวจวัดด้วยการรับรู้และสังเกตุ ประกอบด้วยอนุภาคของเหลวเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 200 ไมโครเมตรขึ้นไป จะเกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศที่ต่ำกว่า Troposphere ซึ่งการเกิดเมฆเป็นผลมาจากการรวมตัวของไอน้ำกลั่นตัวเป็นหยดน้ำในชั้นของบรรยากาศ การลอยตัวของไอน้ำในแนวตั้ง การเคลื่อนไหวของอากาศเนื่องจากการพาความร้อนที่ลอยสูงขึ้นมากกว่าสูงจากพื้นดินหรือในการเคลื่อนไหวในแนวตั้งขนาดใหญ่ การพาความร้อนจะเกิดขึ้นในของเหลว และแก๊สเท่านั้น การพาความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนภายในของไหล (Fluid) โดยที่อะตอมหรือโมเลกุลของของไหลเคลื่อนที่นำความร้อนติดตัวไปด้วย ในบรรยากาศการพาความร้อนมักเกิดขึ้นจากความแตกต่างของความหนาแน่น เมื่อพื้นดินได้รับความร้อนในช่วง

เช้า อากาศที่อุ่นกว่าและเบากว่าจะลอยตัวขึ้น จนกระทั่งถึงระดับความสูงที่อุณหภูมิ และความหนาแน่นมีค่าเท่ากับสิ่งแวดล้อม ในขณะเดียวกันอากาศเย็นจะมีความหนาแน่นมากกว่าก็จะพัดเข้ามาแทนที่อากาศที่ลอยและจะทำให้อุ่นขึ้นโดยการสัมผัสกับพื้นดิน ซึ่งในทางอุตุนิยมวิทยา การพาความร้อนในแนวนอน คือ ลม ซึ่งแตกต่างจากการพาความร้อนในแนวดิ่งที่ทำให้เกิดเมฆพาความร้อน (Convective Cloud) และเมื่อเมฆยกตัวสูงขึ้นทำให้เกิดฝนฟ้าคะนองได้ องค์การอุตุนิยมวิทยาโลก [8] ได้กำหนดเกณฑ์การจำแนกเมฆ โดยจัดหมวดหมู่ออกเป็น 10 สกุล (Genera) 29 ชนิด (Spicie) และ 31 พรรณ (Varieties) ซึ่งมีชื่อเป็นภาษาละตินชนิดเมฆทั้งหมดสามารถจัดแบ่งออกเป็น 3 วงศ์ (Families) ตามระดับความสูงของฐานเมฆ คือ

1.4.4.1 เมฆวงศ์เอ (Families A) (High Clouds, CH) ระดับฐานเมฆโดยเฉลี่ยสูงจากพื้นดิน 6 กิโลเมตรขึ้นไป (20,000 - 60,000 ฟุต) ภายในเมฆจะเป็นผลึกน้ำแข็งหมดทั้งก้อน ประกอบด้วยเมฆ 3 สกุลประกอบด้วย

ก. เมฆเซอรัส (Cirrus, Ci) เป็นเมฆสีขาวใสเป็นปุยคล้ายใยไหม ประกอบด้วยผลึกน้ำแข็งมีลักษณะเป็นเส้นใยต่อเนื่องกัน บางครั้งมองดูคล้ายตะขอรูปหางม้า (Mares’ tail) หรือคล้ายขนนก เมื่อบังดวงอาทิตย์หรือดวงจันทร์บางครั้งทำให้เกิดวงแสง (Halo) ฐานเมฆโดยเฉลี่ยประมาณ 10 กิโลเมตร

ข. เมฆเซอโรคิวมูลัส (Cirrocumulus, Cc) เป็นเมฆสีขาวบางของผลึกน้ำแข็งที่เห็นเป็นริ้วๆคล้ายคลื่นหรือก้อนเล็กๆ เรียงกันเป็นแถวอย่างมีระเบียบที่เรียกว่า ท้องฟ้าแมกเคอเรล (Mackerel Sky) เมฆชนิดนี้จะปรากฏขึ้นน้อยมาก ฐานเมฆโดยเฉลี่ยประมาณ 7 กิโลเมตร

ค. เมฆเซอโรสเตรตัส (Cirrostatus, Cs) เป็นเมฆแผ่นสีขาวโปร่งใสเป็นเยื่อหรือเป็นฝ้าบางๆราบเรียบเสมอกัน ในบางครั้งอาจเกิดปกคลุมเต็มท้องฟ้า และจะทำให้เกิดปรากฏการณ์วงแสงที่เรียกว่า พระอาทิตย์ทรงกลดหรือพระจันทร์ทรงกลด ฐานเมฆโดยเฉลี่ยประมาณ 8.5 กิโลเมตร

1.4.4.2 เมฆวงศ์บี (Families B) หมายถึง เมฆชั้นกลาง (Middle Clouds, CM) ระดับฐานเมฆโดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2-6 กิโลเมตร (6,500 - 26,000 ฟุต) ประกอบด้วยเมฆ 2 สกุล คือ

ก. เมฆแอลโตคิวมูลัส (Altocumulus, Ac) เป็นเมฆสีขาวหรือสีเทา หรือทั้งสีขาวและเทาปนกัน มีรูปร่างลักษณะเป็นก้อนเล็กๆอยู่รวมกันเป็นกลุ่มคล้ายหลังแกะ (Sheep back) ช่องว่างระหว่างก้อนเมฆจะมองเห็นท้องฟ้าเป็นสีน้ำเงิน ภายในเมฆประกอบด้วยผลึกน้ำแข็งเป็นจำนวนมากกว่าละอองน้ำ การเกิดเมฆชนิดนี้ในท้องฟ้าแสดงว่าสภาพอากาศจะดีขึ้น

ข. เมฆแอลโตสเตรตัส (Altostratus, As) เป็นเมฆแผ่นที่มีลักษณะเป็นเยื่อติดต่อกันเป็นพืดบางๆมีสีเทาหรือสีน้ำเงินอ่อน แผ่กระจายครอบคลุมท้องฟ้าเป็นบริเวณกว้าง เมื่อเมฆชนิดนี้ เคลื่อนตัวมาบังดวงอาทิตย์

หรือดวงจันทร์จะมองเห็นเป็นฝ้าวงกลมสีขาว ภายในเมฆจะประกอบด้วยละอองน้ำมากกว่าผลึกน้ำแข็ง ในเขตร้อนเมฆชนิดนี้มักเกิดในเวลาที่มีฝนตก

1.4.4.3 เมฆวงศ์ซี (Families C) หมายถึงเมฆชั้นต่ำ (Low Clouds, CL) ระดับฐานเมฆอยู่ใกล้พื้นผิวดินขึ้นไปจนถึงระดับความสูงประมาณ 2 กิโลเมตร (ผิวพื้น - 6,500 ฟุต) ประกอบด้วยเมฆ 3 สกุล คือ

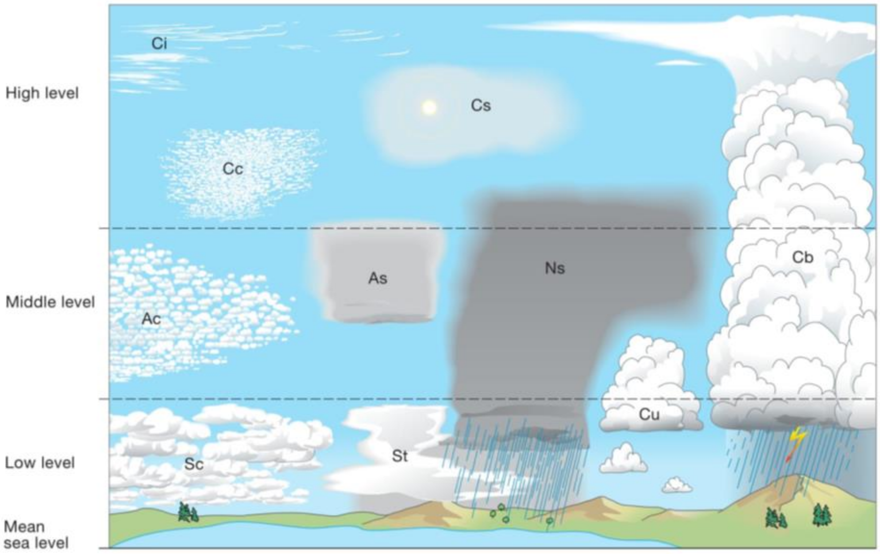
ก. เมฆสเตรโตคิวมูลัส (Stratocumulus, Sc) เป็นเมฆก้อนสีเทาอ่อนและบางส่วนเป็นสีดำเรียงรายติดกันเป็นพืดจนเป็นก้อนแบนกว้างใหญ่หรือเป็นลอนลูกฟูกตามแนวระนาบ ถ้าเมฆก่อตัวมากขึ้นจะเห็นเป็นลอนๆ คล้ายเกลียวเชือก จะมองเห็นท้องฟ้าได้เป็นบางตอนระหว่างลอนก้อนเมฆ ภายในเมฆจะมีละอองน้ำเท่านั้น

ข. เมฆสเตรตัส (Stratus, St) เป็นเมฆที่อยู่ระดับต่ำมีลักษณะเป็นชั้นหรือแผ่นหนาทึบที่คล้ายหมอกที่ยกตัวขึ้นไปอยู่ในระดับสูงจากพื้นดิน ฐานเมฆจะเรียบสม่ำเสมอ เมฆมีสีเทาอ่อนภายในเมฆจะมีเฉพาะละอองน้ำเช่นเดียวกับเมฆสเตรโตคิวมูลัส ฝนที่เกิดจากเมฆชนิดนี้จะเป็นฝนละออง

ค. เมฆนิมโบสเตรตัส (Nimbostratus, Ns) เป็นเมฆสีเทาติดต่อเป็นแนวเดียวกันหรือเป็นแผ่นบางครั้งมีสีดำ ภายในเมฆประกอบด้วยละอองน้ำ และผลึกน้ำแข็ง เมฆชนิดนี้จะทำให้ฝนตกติดต่อกันลงมาเป็นสายหรือมีหิมะตกลงมาด้วย และฝนหรือหิมะที่เกิดขึ้นจะตกอย่างต่อเนื่อง

ง. เมฆคิวมูลัส (Cumulus, Cu) เป็นเมฆก้อน   ที่มีลักษณะคล้ายดอกกะหล่ำ รูปโดมหรือทรงหอคอยตามแนวดิ่ง เมื่อกระทบกับแสงอาทิตย์จะมีสีขาวสดใส แต่บริเวณฐานเมฆจะมีสีค่อนข้างดำ เมฆชนิดนี้จะพบมากในเขตร้อน ภายในเมฆจะมีเฉพาะละอองน้ำ ถ้าเกิดขึ้นเป็นหย่อมๆ หรือลอยอยู่โดดเดี่ยวจะแสดงถึงภาวะอากาศดี ถ้าก้อนเมฆมีขนาดใหญ่ขึ้นอาจมีฝนตกภายในก้อนได้ฝนที่ตกลงมาจะเป็นฝนซู่เฉพาะแห่ง

จ. เมฆคิวมูโลนิมบัส (Cumulonimbus, Cb) เป็นเมฆที่พัฒนาขึ้นมาจากเมฆคิวมูลัส มีลักษณะเป็นก้อนขนาดใหญ่ทรงสูงคล้ายภูเขาหรือหอคอย เป็นเมฆที่แสดงถึงภาวะอากาศที่ไม่ดี ฐานเมฆอยู่ใกล้ผิวดินที่ระดับความสูงประมาณ 300-600 เมตร บริเวณฐานเมฆจะมีเมฆหนาทึบสีดำคล้ำและม้วนตัวอยู่เสมอ ยอดเมฆจะมีความสูงถึง 3-8 กิโลเมตร และบางครั้งอาจสูงถึง 18 กิโลเมตร ส่วนบนของเมฆจะแผ่กระจายออกมีลักษณะคล้ายทั่ง (Anvil Head) หรือขนนกขนาดใหญ่ ภายในเมฆจะมีทั้งหยดน้ำ ผลึกน้ำแข็ง หิมะ ลูกเห็บและกระแสลมรุนแรง เมฆชนิดนี้จะทำให้เกิดฝนตกหนัก และบางครั้งจะมีลูกเห็บตกลงมาด้วย ขณะที่ฝนตกจะมีลมกระโชกอย่างรุนแรงร่วมกับฟ้าแลบ ฟ้าร้อง ฟ้าผ่า ความรุนแรงของสภาพอากาศจะสัมพันธ์กับความสูงของเมฆ และบางครั้งจะเรียกเมฆชนิดนี้ว่า เมฆพายุฝนฟ้าคะนอง (Thunderstorm Cloud)



รูปที่ 2 แสดงลักษณะรูปแบบของเมฆชนิดต่าง ๆ 10 สกุล ที่แบ่งออกเป็น 3 วงศ์ (Families)

ตามระดับความสูงของฐานเมฆ

ที่มา https://cloudatlas.wmo.int/en/clouds-definitions.html

1.4.5 การตรวจและรายงานเมฆในทางอุตุนิยมวิทยาการบิน

[5] 1.4.5.1 รูปแบบรหัส: NSNSNShShShS (CC)

or NSC or NCD or VVhShShS

• NSNSNS คือ จำนวนเมฆที่แสดงเป็น FEW, SCT, BKN, OVC

• hShShS คือ ความสูงของฐานเมฆเหนือท่าอากาศยานรายงานได้ทุก ๆ 100 ฟุต จนถึง 10000 ฟุต

• (CC) คือ ชนิดของเมฆที่สามารถใช้รายงานได้เฉพาะ Cumulonimbus (CB) และ/หรือ Towering Cumulus (TCU) ในข่าว METAR

• NSC แสดงถึงเมฆที่ไม่มีนัยสำคัญ เช่น ไม่มีเมฆที่มีฐานต่ำกว่า 5000 ฟุต หรือต่ำกว่าระดับความสูงต่ำสุดที่อนุญาตให้บิน (ขึ้นอยู่กับว่าอะไรสูงกว่า) และไม่มี Towering Cumulus หรือ Cumulonimbus (TCU หรือ CB)

• NCD ไม่ได้รายงานโดยผู้ปฏิบัติงานด้านการตรวจอากาศการบินอากาศ แต่ใช้แทนเมื่อระบบตรวจอากาศอัตโนมัติไม่สามารถตรวจพบเมฆ และบ่งบอกว่าระบบไม่สามารถตรวจจับเมฆได้ (no clouds are detected by the system)

• VVhShShS คือทัศนวิสัยในแนวตั้ง การรายงาน VV/// หมายความว่าไม่สามารถวัดความสูงการมองเห็นในแนวตั้งได้หรือท้องฟ้าถูกปิดบัง

1.4.5.2 โดยปกติมีการรายงานกลุ่มเมฆได้สามชั้น (Layer) ในบางกรณี เช่น มีเมฆ TCU หรือ CB สามารถรายงานเพิ่มเติมได้ถ้ายังไม่ได้รายงานไว้ในชั้นแรก

• ชั้นต่ำสุดรายงานได้ทุกจำนวน (FEW, SCT, BKN, OVC)

• ชั้นถัดไปรายงานได้ตั้งแต่ 3 oktas หรือมากกว่า (SCT, BKN หรือ OVC)

• ชั้นถัดไปรายงานได้ตั้งแต่ 5 oktas หรือมากกว่า (BKN หรือ OVC)

• สามารถแทรก Towering Cumulus: TCU หรือ Cumulonimbus: CB ที่ไม่ได้ใส่ไว้ในชั้นแรก โดยเรียงตามความสูงของฐานเมฆตั้งแต่ต่ำสุดไปจนถึงสูงสุด

1.4.5.3 จำนวนเมฆ (NSNSNS) สามารถแสดงเป็น

• FEW เล็กน้อยหรือปกคลุมไม่เกิน 1 – 2 ส่วน

• SCT ปกคลุม 3 – 4 ส่วน

• BKN ปกคลุม 5 – 7 ส่วน

• OVC ปกคลุมเต็มท้องฟ้าคือ 8 ส่วน

1.4.5.4 ความสูงของฐานเมฆ (hShShS) รายงาน 100 - 10000 ฟุต

1.4.5.5 ให้รายงาน NSC ในกรณีที่ไม่มีเมฆฐานต่ำกว่า 5000 ฟุต (ไม่มีเมฆที่มีนัยสำคัญ no significant cloud) ไม่มีเมฆ CB (Cumulonimbus) หรือ TCU (Towering Cumulus)

<u>ตัวอย่าง</u> การรายงาน NSC และ CAVOK

METAR VTBS 160330Z VRB02KT 8000 NSC 27/23 Q1015 NOSIG

METAR VTBS 162130Z 05008KT CAVOK 25/20 Q1013 NOSIG

1.4.5.6 โดยปกติจะไม่ระบุชนิดของเมฆ แต่เมฆก่อตัวทางตั้งที่สำคัญ จะระบุเป็น TCU (Towering Cumulus) หรือ CB (Cumulonimbus) ซึ่งจะถูกใส่ต่อจากความสูงของฐานเมฆ โดยจะต้องรายงานจำนวนความสูงของฐานเมฆและชนิดของเมฆ TCU หรือ CB โดยไม่จำกัดความสูงของฐานเมฆ

1.4.5.7 เมื่อเมฆ CB และ TCU เกิดขึ้นพร้อมๆกัน มีฐานเมฆเท่ากัน จำนวนเมฆจะถูกเข้ารหัสจากผลรวมของเมฆทั้งสองชนิด แต่ให้รายงานชนิดของเมฆเป็น CB (Cumulonimbus)

1.4.5.8 ความสูงของฐานเมฆจะปัดเศษลงมาที่หลักร้อยฟุต ไปจนถึง 10000 ฟุต ความสูงฐานเมฆที่ต่ำกว่า 100 ฟุตเหนือท่าอากาศยานให้เข้ารหัสเป็น "000" (สำหรับท่าอากาศยานที่อยู่สูงหรืออยู่บนภูเขา)

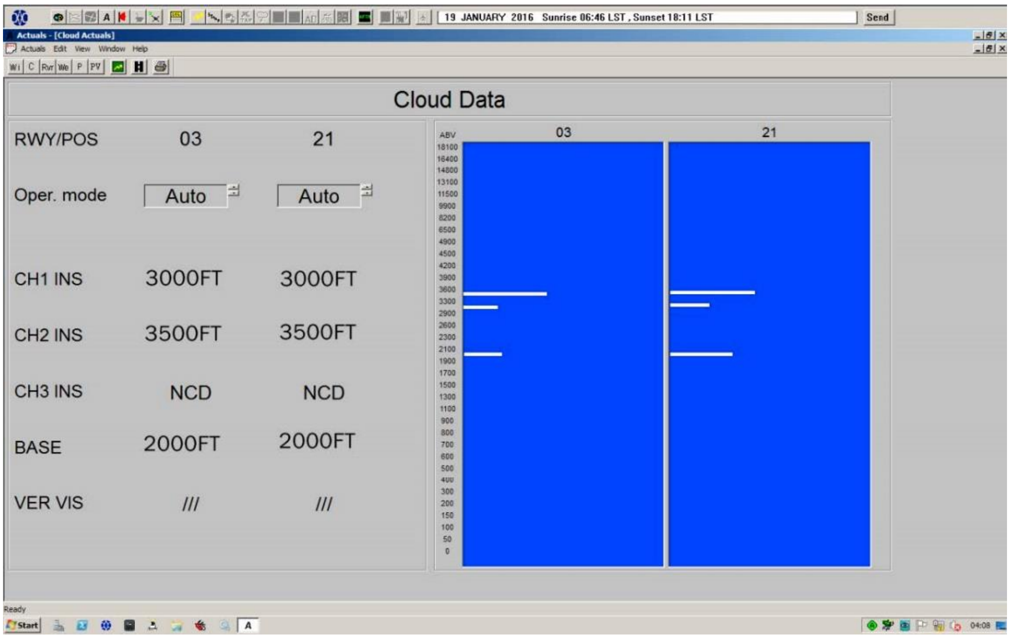
1.4.5.9 ใช้ CAVOK รายงานแทนกลุ่มเมฆ

1.4.5.10 เมื่อท้องฟ้าถูกปิดบังเนื่องจากหมอก ให้รายงาน 'VV///' แทนข้อมูลเมฆ

1.4.5.11 เมื่อรายงาน TS (Thunderstorm) เป็นสภาพอากาศปัจจุบัน จะต้องรายงาน 'CB' (cumulonimbus) ด้วยทุกครั้ง

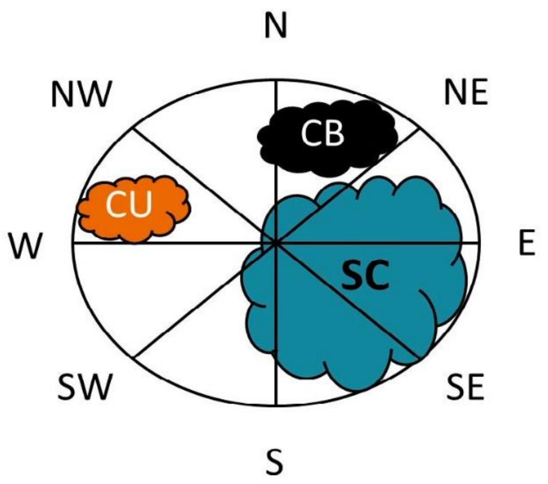
<u>ตัวอย่าง</u> การรายงานเมฆจากเครื่องมือตรวจอากาศอัตโนมัติและสายตา

ใช้การตรวจด้วยสายตาของผู้ปฏิบัติงานด้านการตรวจอากาศการบินเป็นหลัก โดยอาจใช้ค่าที่ได้จากเครื่องมือตรวจอากาศอัตโนมัติเป็นตัวประกอบการตัดสินใจในการเข้ารหัส เช่น ความสูงของเมฆ โดยมองเป็นลำดับชั้นของแต่ละความสูงจากต่ำสุดไปหาสูงสุด และจำนวนของเมฆในแต่ละชั้นว่ามีปริมาณเท่าไหร่เมื่อเทียบกับทั้งท้องฟ้า ซึ่งต้องอนุมานแบ่งเมฆทั้งท้องฟ้าออกเป็น 8 ส่วน แล้วจึงนำจำนวนและความสูงมาเข้ารหัสตามวิธีเข้ารหัสกรุ๊ปเมฆ ดังรูป และจะเข้ารหัสแบบพิเศษเมื่อมีกลุ่มเมฆ CB เกิดขึ้น



รูปที่ 3 แสดงหน้าจอ AWOS แสดงความสูงของฐานเมฆ

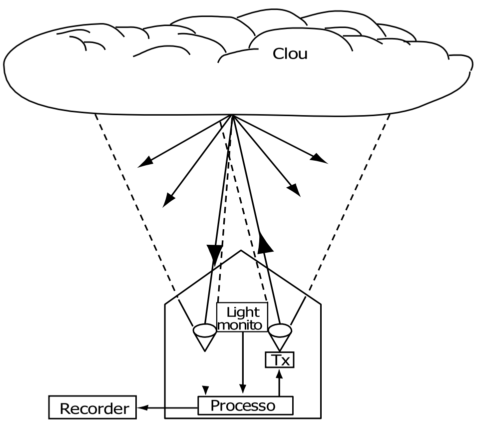
ที่มา : คู่มือมาตรฐาน การตรวจและการรายงานข่าวอากาศการบินแบบ METAR และ SPECI เลขที่ 551.501.9-05-2563



รูปที่ 4 แสดงจำนวนของเมฆเข้ารหัสกรุ๊ปเมฆแบบพิเศษ : FEW020 FEW030CB SCT035

การตรวจวัดความสูงของฐานเมฆด้วยเครื่องมือตรวจวัดความสูงของฐานเมฆ มีวิธีการหลากหลายในการตรวจวัดความสูงของฐานเมฆ เช่น การใช้บอลลูนสำหรับการตรวจวัด แต่มีความยุ่งยากในการทำการตรวจและระยะเวลาในการประมวลผลข้อมูล ปัจจุบันนิยมใช้เทคโนโลยีของการใช้เครื่องมือ Ceilometer โดยใช้หลักการของคลื่นแสง Near Infrared ทำการส่องไปในทิศทางที่ต้องการตรวจวัดซึ่งมีความถูกต้อง รวดเร็วและทันต่อการนำมาใช้งานเฉพาะด้านที่ต้องการระยะเวลาที่รวดเร็วในการปฏิบัติ ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมและเหมาะสมที่สุดในการนำมาใช้งานมากขึ้นและเทคนิคที่มีข้อได้เปรียบกว่าวิธีอื่น ๆ

การใช้วิธีการวัดด้วยเลเซอร์ ceilometer ตรวจวัดความสูงของเมฆฐาน จะสามารถกำหนดทิศทางและเวลาการตรวจวัดได้อย่างแม่นยำ สามารถกำหนดมุมของแสงที่สอดคล้องกับการนำมาใช้งานในด้านต่าง ๆ โดยคลื่นแสงจะถูกส่งจากเครื่องส่งสัญญาณไปยังฐานเมฆและกลับไปยังเครื่องรับสัญญาณในแนวตั้งขึ้นไป (ภาพที่ 5) โดยทั่วไปประกอบด้วยสองหน่วย หน่วยภาคส่งสัญญาณ –ภาครับสัญญาณ และหน่วยประมวลผลและบันทึกข้อมูลโดยใช้ชุดคอมพิวเตอร์ในการประมวลผลข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจากเซนเซอร์ เครื่องแหล่งกำเนิดแสงโดยทั่วไปจะใช้เลเซอร์ที่มีความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรด เพื่อป้องกันผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับการมองเห็นของสายตามนุษย์ นอกจากนี้การจัดวางเลนส์ของเครื่องส่งสัญญาณที่มีการจัดวางแหล่งเลเซอร์และตัวรับสัญญาณตามหลักการของระบบกล้องโทรทรรศน์ พื้นผิวของเลนส์จะได้รับเคลือบลดการสะท้อนของแสง กระจกปิดผลึกป้องกันการสะท้อนและการกระเจิงของแสงเป็นอย่างดี



รูปที่ 5 แสดงการทำงานของ Typical Laser Ceilometer

1.4.6 เพดานเมฆ หรือ Ceiling

[9] เพดานเมฆในทางการบิน คือ ความสูงของฐานเมฆที่มีจำนวนปกคลุมท้องฟ้า ตั้งแต่ 5 ส่วนขึ้นไป (BKN-OVC)

1.4.7 กฎการบินที่พิจารณาเฉพาะในส่วนค่าเพดานเมฆและทัศนวิสัย

[10] การปฏิบัติการเดินอากาศมีข้อกำหนดที่เป็นมาตรฐานตามองค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ (ICAO) เพื่อควบคุมความปลอดภัยในการเดินอากาศ ซึ่งข้อมูลพารามิเตอร์อุตุนิยมวิทยาการบินเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งในการกำหนดรูปแบบการเดินอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลความสูงของเพดานเมฆ และทัศนวิสัยถูกใช้เพื่อกำหนดประเภทการบินของเครื่องบินในการขึ้นและลงที่ท่าอากาศยาน และการให้บริการของสนามบินนั้น ๆ การควบคุมการจราจรทางอากาศในเส้นทางบิน แบ่งระดับการช่วยเหลือตามประเภทการบินของอากาศยานไว้ 2 กลุ่มใหญ่คือ เครื่องบินที่บินโดยไม่มีอุปกรณ์ช่วยเหลือมากนัก กล่าวคือ บินตามกฎอาศัยทัศนวิสัยเป็นตัวตัดสินใจ (Visual Flight Rule : VFR) อีกกลุ่มคือ เครื่องบินที่มีอุปกรณ์เครื่องวัดประกอบการบิน (Instrument Flight Rule : IFR) เครื่องบินในกลุ่มหลังนี้ต้องทำแผนการบินส่งให้กับศูนย์ควบคุมและต้องรับฟังคำแนะนำตลอดเวลาบิน ซึ่งศูนย์ควบคุมการจราจรทางอากาศจะดูแลให้เครื่องบินกลุ่มนี้อยู่ในตำแหน่งและเส้นทางที่เหมาะสม [11] โดยสภาพอากาศจากการพิจารณาเฉพาะในส่วนค่าเพดานเมฆและทัศนวิสัย มีส่วนในการกำหนดประเภทการบินของเครื่องบิน โดยแบ่งได้เป็น ดังนี้

1. Low Instrument Flight Rules (LIFR): เพดานเมฆน้อยกว่า 500 ฟุต และ/หรือ ทัศนวิสัยต่ำกว่า 1ไมล์ หรือต่ำกว่า 1,600 เมตร

LIFR = Ceiling <500 AGL and/or Visibility <1 mile

2. Instrument Fight Rules (IFR): เพดานเมฆ 500 ฟุต ถึงต่ำกว่า 1,000 ฟุต และ/หรือ ทัศนวิสัยตั้งแต่ 1 ไมล์ แต่น้อยกว่า 3 ไมล์ หรือตั้งแต่ 1,600-4,700 เมตร

IFR = Ceiling 500-999 AGL and/or Visibility 1 mile- less than 3 miles

3. Marginal VFR (MVFR): เพดานเมฆตั้งแต่ 1,000-3,000 ฟุต และ/หรือ ทัศนวิสัยตั้งแต่ 3-5 ไมล์ หรือ 4,800-8,000 เมตร

MVFR = Ceiling 1000-3000 AGL and/or Visibility 3-5 miles

4. Visual Flight Rules (VFR): เพดานเมฆสูงกว่า 3,000 ฟุต และ ทัศนวิสัยมากกว่า 5 ไมล์ หรือมากกว่า 8,000 เมตร

VFR = Ceiling >3000′ and Visibility >5 miles

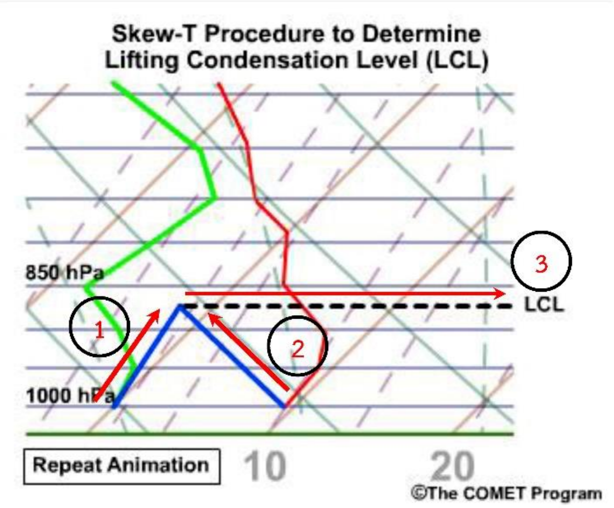
1.4.8 lifting condensation level (LCL)

[12] LCL คือ ระดับความสูงที่มวลอากาศยกตัวขึ้นไปตามแนวเส้นอะเดียแบติกแบบแห้ง (Dry adiabatic) จนถึงจุดที่มวลอากาศอิ่มตัว (Saturated) ซึ่งถือได้ว่าเป็นระดับความสูงที่เริ่มก่อตัวของเมฆ หรือระดับความสูงของฐานเมฆ (Cloud base) การหาระดับ Lifting Condensation Level (LCL) จากแผนภูมิเทอร์โมไดนามิคส์ แบบสกิวที/ลอการิทึมพี ดังรูปที่ 6 สามารถหาได้ตามขั้นตอนดังนี้

(1) ลากเส้นขึ้นไปจากจุดอุณหภูมิน้ำค้าง (Td) ที่ระดับผิวพื้น (Surface) ขนานตามแนวเส้นอัตราส่วนผสมอิ่มตัว (Saturation Mixing Ratio)

(2) ลากเส้นขึ้นไปจากจุดอุณหภูมิ (T) ที่ระดับผิวพื้น (Surface) ขนานตามแนวเส้นอะเดียแบติกแบบแห้ง (Dry adiabatic) จนไปตัดกับเส้นที่ลากขนานตามแนวเส้นอัตราส่วนผสมอิ่มตัว (Saturation Mixing Ratio)

(3) ลากเส้นขนานตามแนวเส้นความกดอากาศเท่า (Isobar) ผ่านจุดตัดแล้วอ่านค่าความกดอากาศโดยระดับความกดที่อ่านได้ คือ Lifting Condensation Level (LCL)



รูปที่ 6 แสดงระดับ LCL บนแผนภูมิเทอร์โมไดนามิคส์ แบบสกิวที/ลอการิทึมพี

ที่มา https://www.meted.ucar.edu/mesoprim/skewt/navmenu.php?tab=2&page=3-3-1&type=flash

1.4.9 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์อย่างง่าย

[13] สหสัมพันธ์เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลหรือตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป ว่ามีความสัมพันธ์กันในระดับใด และมีความสัมพันธ์ในทิศทางใด เช่นความสูงกับน้ำหนักของคนมีความสัมพันธ์กันมากหรือน้อย และมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันหรือตรงกันข้าม การวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson Product Moment Correlation Coefficient) เป็นการวิเคราะห์สหสัมพันธ์อย่างง่ายแบบหนึ่ง โดยข้อตกลงเบื้องต้น ของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน เป็นดังนี้

1. ตัวแปร 2 ตัว เป็นตัวแปรแบบต่อเนื่อง หรือเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ

2. ความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปรเป็นเส้นตรง (Linear Relationship)

1.4.9.1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่าย (Simple Correlation Coefficient) เขียนแทนด้วย สัญลักษณ์ ρ ในกรณีที่เป็นค่าพารามิเตอร์ และ r ในกรณีที่เป็นค่าสถิติโดยที่ ρ และ **r** จะไม่มีหน่วยและมีค่าตั้งแต่ -1 ถึง 1 ความหมายของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่คำนวณได้มีความหมายดังนี้

1. ถ้า ρ และ **r** มีค่าเป็นบวก แสดงว่าตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงบวก หมายความว่าถ้าตัวแปร X มีค่าเพิ่มขึ้นตัวแปร Y จะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือถ้าตัวแปร X มีค่าลดลง ตัวแปร Y จะมีค่าลดลง

2. ถ้า ρ และ r มีค่าเป็นลบ แสดงว่าตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงลบ หมายความว่าถ้าตัวแปร X มีค่าเพิ่มขึ้นตัวแปร Y จะมีค่าลดลง หรือถ้าตัวแปร X มีค่าลดลง ตัวแปรY จะมีค่าเพิ่มขึ้น

3. ถ้า ρ และ r มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างสมบูรณ์ (perfect positive correlation)

4. ถ้า ρ และ r มีค่าเท่ากับ -1 แสดงว่าตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างสมบูรณ์ (perfect negative correlation)

5. ถ้า ρ และ r มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงบวก และมีความสัมพันธ์มาก

6. ถ้า ρ และ r มีค่าเข้าใกล้ -1 แสดงว่าตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงลบ และมีความสัมพันธ์มาก

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

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

1.4.9.2 วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน

วิธีการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน ซึ่งใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเชิงปริมาณ หรือตัวแปรแบบต่อเนื่อง สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ ρ ในทางปฏิบัติเราเก็บรวบรวมข้อมูลจากตัวอย่าง ดังนั้นจะประมาณ ρ ด้วย r มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$r = \frac{N\sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[N\sum X2 - (\sum X)2][N\sum Y_2 - (\sum Y)2]}}$$

เมื่อ	r	เป็น ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์แบบเพียรสัน
	$\sum X$	เป็น ผลรวมของข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่1 (X)
	$\sum Y$	เป็น ผลรวมของข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่2 (Y)
	$\sum XY$	เป็น ผลรวมของผลคูณระหว่างข้อมูลตัวแปรที่1 และ2
	$\sum X2$	เป็น ผลรวมของกำลังสองของข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่1

$\sum Y2$ เป็น ผลรวมของกำลังสองของข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่2

N เป็น จำนวนของกลุ่มตัวอย่าง

ค่า r จะมีค่าอยู่ระหว่าง .00 ถึง +1.00 ไม่มีค่าที่เป็นลบ ซึ่งสามารถพิจารณาระดับน้ำหนักความสัมพันธ์ (Determining the strength of the relationship) ตามคำแนะนำของ Cohen, 1988 ดังนี้

น้อย **r**=.10 to .29

ปานกลาง **r**=.30 to .49

มาก **r**=.50 to 1.0

1.4.9.3 การทดสอบสมมติฐานค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

เป็นการทดสอบว่าตัวแปร X และตัวแปร Y มีความสัมพันธ์กันหรือไม่ ซึ่งใช้การทดสอบแบบ 2 ทาง ดังนี้

$H_0 : \rho = 0$ หรือ H_0: ตัวแปร X และ Y ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง

$H_1 : \rho \neq 0$ หรือ H_1 : ตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง

1.4.10 ภูมิประเทศของสนามบินแม่สอด อ.แม่สอด จ.ตาก

[14] แม่สอดตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกของจังหวัดตาก ระหว่างเส้นรุ้งที่ 16 องศา 42 ลิปดา 47 พิลิปดาเหนือ และเส้นแวงที่ 98 องศา 34 ลิปดา 29 พิลิปดาตะวันออก สูงกว่าระดับน้ำทะเล 215 เมตร ณ ที่ตั้งที่ว่าการอำเภอแม่สอด อำเภอแม่สอดมีพื้นที่ประมาณ 1,986.116 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 1,241,322.5 ไร่ ใหญ่เป็นลำดับที่ 3 ของจังหวัดตาก รองจากอำเภออุ้มผาง และอำเภอสามเงา

อำเภอแม่สอดมีอาณาเขตติดต่อกับอำเภออื่นในประเทศไทย 3 อำเภอ และ 1 รัฐในประเทศพม่า ดังนี้
ทิศเหนือ มีอาณาเขตติดต่อกับอำเภอแม่ระมาด จังหวัดตาก
ทิศใต้ มีอาณาเขตติดต่อกับอำเภอพบพระ จังหวัดตาก
ทิศตะวันออก มีอาณาเขตติดต่อกับอำเภอเมืองตาก จังหวัดตาก โดยมีเทือเขาถนนธงชัยเป็นแนวกั้นเขต
ทิศตะวันตก มีอาณาเขตติดต่อกับ เมืองเมียวดี รัฐกะเหรี่ยง ประเทศพม่า โดยมีแม่น้ำเมยเป็นกั้นพรมแดน

รูปที่ 7 แสดงลักษณะทางภูมิศาสตร์ของอำเภอแม่สอด

ที่มา : http://www.maphill.com/thailand/northern/tak/mae-sot/maps/political-map/?most-similar-to=simple-maps/political-shades-map/

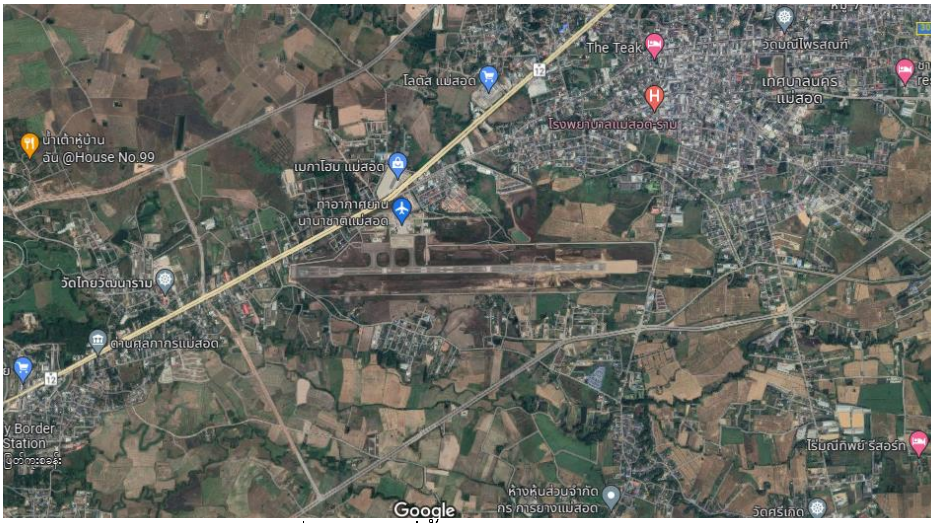
อำเภอแม่สอดมีพื้นที่ทั้งสิ้น 1,986.116 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 1,241,322.50 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 12.11 ของเนื้อที่จังหวัด (เนื้อที่จังหวัด 16,406,650 ตารางกิโลเมตร) สภาพพื้นส่วนใหญ่เป็นภูเขาสูงชันซับซ้อนสลับกับหุบเขาแคบ ๆ ลักษณะภูมิประเทศของอำเภอเป็นที่ราบประมาณร้อยละ 20 ของพื้นที่อำเภอ และประมาณร้อยละ 80 ของพื้นที่ปกครองไปด้วยป่าโปร่งป่าดงดิบและป่าสน ภูเขาบริเวณนี้เป็นส่วนหนึ่งของทิวเขาถนนธงชัยที่ต่อลงมาจากทางตอนใต้ของจังหวัดแม่ฮ่องสอนและจังหวัดเชียงใหม่ ทอดผ่านจังหวัดตาก และอำเภอแม่สอด ลงไปจนเชื่อมต่อกับทิวเขาตะนาวศรีจังหวัดกาญจนบุรี พื้นที่ลาดเอียงลงไปทางทิศตะวันตกลงสู่แม่น้ำเมยซึ่งกั้นพรมแดนระหว่างประเทศไทยกับประเทศพม่า สภาพพื้นที่โดยทั่วไปของอำเภอแม่สอดตั้งอยู่ในภาคเหนือค่อนไปทางตะวันตกของประเทศไทยประกอบด้วยป่าไม้และเทือกเขาสูง มีพื้นที่ราบสำหรับการเกษตรน้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเป็นทิวเขาถนนธงชัยสูงสลับซับซ้อนเป็นตัวแบ่งพื้นที่ออกเป็นฝั่งตากตะวันออก คือ อำเภอเมืองตาก อำเภอบ้านตาก อำเภอสามเงา และอำเภอวังเจ้า ส่วนฝั่งตากตะวันตก คือ อำเภอแม่สอด อำเภอแม่ระมาด อำเภอพบพระ อำเภอท่าสองยาง อำเภออุ้มผาง ส่วนที่เป็นที่ราบต่ำถึงเป็นลอนลาด มีความสูงอยู่ระหว่าง 80-200 เมตรจากระดับน้ำทะเล ครอบคลุมเนื้อที่ร้อยละ 16 ของจังหวัด บริเวณที่เป็นพื้นที่ลูกคลื่นลอนชันมีความสูงอยู่ระหว่าง 200-300 เมตร ครอบคลุมเนื้อที่ร้อยละ 10.5 ของจังหวัด พื้นที่ที่เหลือเป็นเนินเขาเตี้ยไปจนถึงภูเขาสูง ซึ่งในกลุ่มนี้ มีพื้นที่ที่มีความสูงระหว่าง 300-700 เมตรจากระดับน้ำทะเลอยู่ร้อยละ 34.8 ของจังหวัด และมีความสูงมากกว่า 700-2,200 เมตร อยู่ร้อยละ 38.4 ของจังหวัด ยอดเขาสูงสุดทางตะวันออกของอำเภอท่าสองยางที่เคยวัดได้ มีความสูง 1,752 เมตร และยอดเขาสูงสุด ทางตะวันออกของอำเภออุ้มผางที่เคยวัดได้มีความสูง 1,898 เมตรจากระดับน้ำทะเล

มีพื้นที่การเกษตร 346,116 ไร่ พื้นที่ป่าไม้ 1,390,494 ไร่ และพื้นที่อยู่อาศัย 27,6701 ไร่

อำเภอแม่สอดมีสภาพภูมิประเทศ มีเทือกเขาถนนธงชัยเป็นตัวปะทะมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ที่พัดมาจากมหาสมุทรอินเดีย และทะเลอันดามัน ลักษณะภูมิอากาศและอุตุนิยมวิทยาอำเภอแม่สอดจึงรับอิทธิพลจากลมมรสุมมากกว่าจังหวัดตากฝั่งตะวันออกทำให้ปริมาณฝนตก โดยเฉพาะในพื้นที่ที่อยู่ในเขตภูเขา เช่นนี้อากาศจะหนาวเย็นมาก

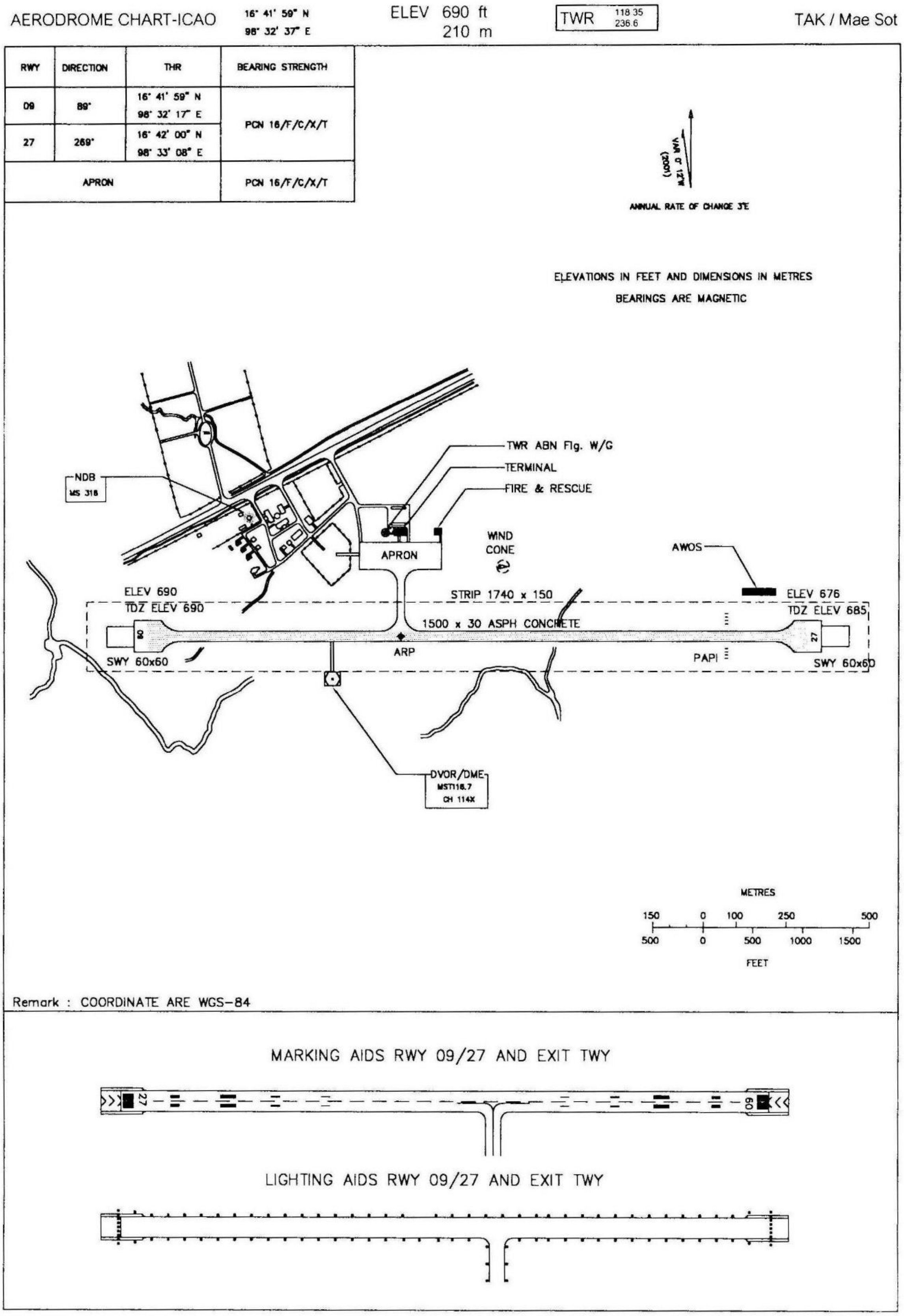
[15] ท่าอากาศยานนานาชาติแม่สอด หรือ สนามบินแม่สอด (IATA: MAQ, ICAO: VTPM) ตั้งอยู่ที่ตำบลท่าสายลวด อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก โดยตั้งอยู่ห่างจากอำเภอแม่สอดประมาณ 3 กิโลเมตร และห่างจากอำเภอเมืองตากประมาณ 87 กิโลเมตร เป็นท่าอากาศยานในสังกัดกรมท่าอากาศยาน กระทรวงคมนาคม และได้ประกาศเป็นท่าอากาศยานศุลกากรเมื่อวันที่ 28 ธันวาคม พ.ศ. 2547 และเป็นท่าอากาศยานที่มีประวัติยาวนานตั้งแต่สมัยหลังสงครามโลกครั้งที่ 1 แต่ได้มีการสร้างอาคารผู้โดยสารหลังใหม่ มีพื้นที่ทั้งหมด 12,000 ตารางเมตร สามารถรองรับผู้โดยสารได้ 600 คนต่อชั่วโมงและขยายทางวิ่งเป็น 2,100 เมตรในปีพ.ศ. 2556-2563

[16] พิกัดที่ตั้งสนามบินแม่สอด: 16°41′59″N 98°32′36″E



รูปที่ 8 แสดงที่ตั้งของสนามบินแม่สอด

ที่มา : https://www.google.com/maps/@16.7023756,98.5472404,4801m/data=!3m1!1e3



รูปที่ 9 แสดงรายละเอียดทางวิ่งของสนามบินแม่สอด

ที่มา : https://aip.caat.or.th/2020-01-02-AIRAC/graphics/7834.pdf

1.5 วิธีดำเนินการศึกษาโดยสรุป

1) ศึกษาทฤษฎีหรือแนวคิดที่เกี่ยวข้อง

2) รวบรวมข้อมูล และคัดกรองข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ทางสถิติ

3) วิเคราะห์ผล

4) สรุปผล

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) สามารถหาแหล่งข้อมูลสำรองเพื่อเป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับข่าวอากาศการบิน

2) สามารถประยุกต์ใช้ทฤษฎีเพื่อเป็นแนวทางหาสมการหาความสูงฐานเมฆที่เหมาะสมของแต่ละสนามบิน

บทที่ 2

ข้อมูลและวิธีการดำเนินการศึกษา

2.1 ข้อมูล

การศึกษานี้ใช้ข้อมูลจากระบบตรวจอากาศอัตโนมัติ (AWOS) ของสนามบินแม่สอด ที่ติดตั้งบริเวณทางวิ่ง 09 และ 27 รายชั่วโมง ตั้งแต่เดือน ธันวาคม พ.ศ.2562 - ธันวาคม พ.ศ.2564 โดยใช้ข้อมูความสูงของฐานเมฆในช่วง 1,000 -3,000 ฟุต รวมทั้งสิ้น 7,777 ข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการดำเนินการศึกษาประกอบด้วย

1) อุณหภูมิอากาศ

2) อุณหภูมิจุดน้ำค้าง

3) ความสูงของฐานเมฆในช่วง 1,000 -3,000 ฟุต

2.2 วิธีดำเนินการศึกษา

รวบรวมข้อมูลจากระบบตรวจอากาศอัตโนมัติ (AWOS) ของสนามบินแม่สอด รายชั่วโมง ที่ติดตั้งบริเวณทางวิ่ง 09 และ 27 รายชั่วโมง ตั้งแต่เดือน ธันวาคม พ.ศ.2562 - ธันวาคม พ.ศ.2564 ทั้งหมดจำนวน 17,520 ข้อมูล หลังจากนั้น

1) คัดกรองข้อมูลโดยใช้ข้อมูล อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง และความสูงของฐานเมฆในช่วง 1,000 -3,000 ฟุต ได้ข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์รวมทั้งสิ้น 7,777 ข้อมูล

2) หาค่าความสูงของฐานเมฆจากการคำนวณ โดยแทนค่าอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ในสมการประมาณค่าความสูงของฐานเมฆจากอุณหภูมิผิวพื้น ของสุรางคณา ฯ

Cloud Base (Ft) = 4170.064 + 148.337 (Temp) -1324.605$\sqrt{Td}$

3) วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ทางสถิติของความสูงฐานเมฆที่ได้จากการคำนวณตามสมการของสุรางคณาฯ กับความสูงฐานเมฆที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดอัตโนมัติ

4) สรุปผลการวิเคราะห์การหาความสัมพันธ์ทางสถิติ และความน่าเชื่อถือในการใช้เป็นแหล่งข้อมูลสำรองในการนำเข้าข่าวอากาศการบิน

บทที่ 3

3. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 การวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS ซึ่งข้อมูลของฐานเมฆจากเครื่องมือตรวจวัดอัตโนมัติของสนามบินแม่สอดที่นำมาวิเคราะห์เป็นตัวเลขที่ได้มาจากการคำนวนค่าเฉลี่ยความสูงฐานเมฆตั้งแต่ 1,000-3,000 ฟุต และทำการแบ่งชุดข้อมูลเป็น 12 ชุดข้อมูล ดังนี้

1. รวมชุดข้อมูลทั้ง 2 รันเวย์ของสนามบินแม่สอด
2. ชุดข้อมูลรันเวย์ 09
3. ชุดข้อมูลรันเวย์ 27
4. ชุดข้อมูลในช่วงฤดูหนาวทั้ง 2 รันเวย์
5. ชุดข้อมูลในช่วงฤดูหนาวรันเวย์ 09
6. ชุดข้อมูลในช่วงฤดูหนาวรันเวย์ 27
7. ชุดข้อมูลในช่วงฤดูร้อนทั้ง 2 รันเวย์
8. ชุดข้อมูลในช่วงฤดูร้อนรันเวย์ 09
9. ชุดข้อมูลในช่วงฤดูร้อนรันเวย์ 27
10. ชุดข้อมูลในช่วงฤดูฝนทั้ง 2 รันเวย์
11. ชุดข้อมูลในช่วงฤดูฝนรันเวย์ 09
12. ชุดข้อมูลในช่วงฤดูฝนรันเวย์ 27

โดยแต่ละฤดูนั้น แบ่งเป็น 3 ฤดู อิงจากเว็บกรมอุตุนิยมวิทยา ดังนี้

1. ฤดูร้อน : 16 ก.พ. – 15 พ.ค.
2. ฤดูฝน : 16 พ.ค. – 15 ต.ค.
3. ฤดูหนาว : 16 ต.ค. – 15 ก.พ.

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลในแต่ละชุดข้อมูลได้ผลการวิเคราะห์ ดังนี้

1. รวมชุดข้อมูลทั้ง 2 รันเวย์ของสนามบินแม่สอด

Correlations

		AVGTOTAL	CALTOTAL
AVGTOTAL	Pearson Correlation	1	.016
	Sig. (2-tailed)		.151
	N	7777	7777
CALTOTAL	Pearson Correlation	.016	1
	Sig. (2-tailed)	.151	
	N	7777	7777

ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างความสูงของฐานเมฆที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดความสูงของเมฆอัตโนมัติ กับค่าความสูงของฐานเมฆที่ได้จากการคำนวนสมการ มีค่าเท่ากับ .016 คิดเป็นร้อยละ 1.6 แปลได้ว่าข้อมูลสองชุดนี้มีความสัมพันธ์กันเพียง 1.6%

2. ชุดข้อมูลรันเวย์ 09

Correlations

		AVG09	CAL09
AVG09	Pearson Correlation	1	.015
	Sig. (2-tailed)		.366
	N	3848	3848
CAL09	Pearson Correlation	.015	1
	Sig. (2-tailed)	.366	
	N	3848	3848

ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างความสูงของฐานเมฆที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดความสูงของเมฆอัตโนมัติ กับค่าความสูงของฐานเมฆที่ได้จากการคำนวนสมการ มีค่าเท่ากับ .015 คิดเป็นร้อยละ 1.5 แปลได้ว่าข้อมูลสองชุดนี้มีความสัมพันธ์กันเพียง 1.5%

3. ชุดข้อมูลรันเวย์ 27

Correlations

		AVG27	CAL27
AVG27	Pearson Correlation	1	.018
	Sig. (2-tailed)		.256
	N	3929	3929
CAL27	Pearson Correlation	.018	1
	Sig. (2-tailed)	.256	
	N	3929	3929

ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างความสูงของฐานเมฆที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดความสูงของเมฆอัตโนมัติ กับค่าความสูงของฐานเมฆที่ได้จากการคำนวนสมการ มีค่าเท่ากับ .018 คิดเป็นร้อยละ 1.8 แปลได้ว่าข้อมูลสองชุดนี้มีความสัมพันธ์กันเพียง 1.8%

4. ชุดข้อมูลในช่วงฤดูหนาวทั้ง 2 รันเวย์

Correlations

		AVGWIN	CALWIN
AVGWIN	Pearson Correlation	1	.064*
	Sig. (2-tailed)		.045
	N	993	993
CALWIN	Pearson Correlation	.064*	1
	Sig. (2-tailed)	.045	
	N	993	993

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างความสูงของฐานเมฆที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดความสูงของเมฆอัตโนมัติ กับค่าความสูงของฐานเมฆที่ได้จากการคำนวนสมการ มีค่าเท่ากับ .064 คิดเป็นร้อยละ 6.4 แปลได้ว่าข้อมูลสองชุดนี้มีความสัมพันธ์กัน 6.4%

5. ชุดข้อมูลในช่วงฤดูหนาวรันเวย์ 09

Correlations

		AVGWIN09	CALWIN09
AVGWIN09	Pearson Correlation	1	.103*
	Sig. (2-tailed)		.028
	N	454	454
CALWIN09	Pearson Correlation	.103*	1
	Sig. (2-tailed)	.028	
	N	454	454

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างความสูงของฐานเมฆที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดความสูงของเมฆอัตโนมัติ กับค่าความสูงของฐานเมฆที่ได้จากการคำนวนสมการ มีค่าเท่ากับ .103 คิดเป็นร้อยละ 10.3 แปลได้ว่าข้อมูลสองชุดนี้มีความสัมพันธ์กัน 10.3%

6. ชุดข้อมูลในช่วงฤดูหนาวรันเวย์ 27

Correlations

		AVGWIN27	CALWIN27
AVGWIN27	Pearson Correlation	1	.029
	Sig. (2-tailed)		.503
	N	539	539
CALWIN27	Pearson Correlation	.029	1
	Sig. (2-tailed)	.503	
	N	539	539

ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างความสูงของฐานเมฆที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดความสูงของเมฆอัตโนมัติ กับค่าความสูงของฐานเมฆที่ได้จากการคำนวนสมการ มีค่าเท่ากับ .029 คิดเป็นร้อยละ 2.9 แปลได้ว่าข้อมูลสองชุดนี้มีความสัมพันธ์กันเพียง 2.9%

7. ชุดข้อมูลในช่วงฤดูร้อนทั้ง 2 รันเวย์

Correlations

		AVGSUM	CALSUM
AVGSUM	Pearson Correlation	1	.100**
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	1515	1515
CALSUM	Pearson Correlation	.100**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	1515	1515

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างความสูงของฐานเมฆที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดความสูงของเมฆอัตโนมัติ กับค่าความสูงของฐานเมฆที่ได้จากการคำนวนสมการ มีค่าเท่ากับ .100 คิดเป็นร้อยละ 10.0 แปลได้ว่าข้อมูลสองชุดนี้มีความสัมพันธ์กัน 10.0%

8. ชุดข้อมูลในช่วงฤดูร้อนรันเวย์ 09

Correlations

		AVGSUM09	CALSUM09
AVGSUM09	Pearson Correlation	1	.100**
	Sig. (2-tailed)		.005
	N	787	787
CALSUM09	Pearson Correlation	.100**	1
	Sig. (2-tailed)	.005	
	N	787	787

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างความสูงของฐานเมฆที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดความสูงของเมฆอัตโนมัติ กับค่าความสูงของฐานเมฆที่ได้จากการคำนวนสมการ มีค่าเท่ากับ .100 คิดเป็นร้อยละ 10.0 แปลได้ว่าข้อมูลสองชุดนี้มีความสัมพันธ์กัน 10.0%

9. ชุดข้อมูลในช่วงฤดูร้อนรันเวย์ 27

Correlations

		AVGSUM27	CALSUM27
AVGSUM27	Pearson Correlation	1	.100**
	Sig. (2-tailed)		.007
	N	728	728
CALSUM27	Pearson Correlation	.100**	1
	Sig. (2-tailed)	.007	
	N	728	728

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างความสูงของฐานเมฆที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดความสูงของเมฆอัตโนมัติ กับค่าความสูงของฐานเมฆที่ได้จากการคำนวนสมการ มีค่าเท่ากับ .100 คิดเป็นร้อยละ 10.0 แปลได้ว่าข้อมูลสองชุดนี้มีความสัมพันธ์กัน 10.0%

10. ชุดข้อมูลในช่วงฤดูฝนทั้ง 2 รันเวย์

Correlations

		AVGRAIN	CALRAIN
AVGRAIN	Pearson Correlation	1	.209**
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	5269	5269
CALRAIN	Pearson Correlation	.209**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	5269	5269

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างความสูงของฐานเมฆที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดความสูงของเมฆอัตโนมัติ กับค่าความสูงของฐานเมฆที่ได้จากการคำนวนสมการ มีค่าเท่ากับ .209 คิดเป็นร้อยละ 20.9 แปลได้ว่าข้อมูลสองชุดนี้มีความสัมพันธ์กัน 20.9%

11. ชุดข้อมูลในช่วงฤดูฝนรันเวย์ 09

Correlations

		AVGRAIN09	CALRAIN09
AVGRAIN09	Pearson Correlation	1	.203**
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	2607	2607
CALRAIN09	Pearson Correlation	.203**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	2607	2607

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างความสูงของฐานเมฆที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดความสูงของเมฆอัตโนมัติ กับค่าความสูงของฐานเมฆที่ได้จากการคำนวนสมการ มีค่าเท่ากับ .203 คิดเป็นร้อยละ 20.3 แปลได้ว่าข้อมูลสองชุดนี้มีความสัมพันธ์กัน 20.3%

12. ชุดข้อมูลในช่วงฤดูฝนรันเวย์ 27

Correlations

		AVGRAIN27	CALRAIN27
AVGRAIN27	Pearson Correlation	1	.216**
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	2662	2662
CALRAIN27	Pearson Correlation	.216**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	2662	2662

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างความสูงของฐานเมฆที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดความสูงของเมฆอัตโนมัติ กับค่าความสูงของฐานเมฆที่ได้จากการคำนวนสมการ มีค่าเท่ากับ .216 คิดเป็นร้อยละ 21.6 แปลได้ว่าข้อมูลสองชุดนี้มีความสัมพันธ์กัน 21.6%

3.2 การวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อน

สารประกอบทางอุตุนิยมวิทยา	ความถูกต้องในการตรวจวัด
ความสูงของฐานเมฆ	**+ 10m (m (33ft) ถึง 100m (330ft)**
	+10% เมื่อสูงกว่า 100 m (m (330 ft)
* ความถูกต้องในการตรวจวัดที่ยอมรับได้ในทางปฏิบัติไม่ได้มีไว้เพื่อเป็นข้อกำหนดในการปฏิบัติงานแต่เป็นความเข้าใจในผลการตรวจวัดของผู้ปฏิบัติงาน	

ตารางที่ 1 ตารางความถูกต้องในการตรวจวัดที่ยอมรับได้ในทางปฏิบัติ

ซึ่งค่าความสูงของฐานเมฆที่ได้จากการคำนวณในสมการมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย เท่ากับ 32% จึงไม่สามารถนำมาใช้ในการรายงานได้

บทที่ 4

4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผลการรวบรวมข้อมูล

สรุปค่าสหสัมพันธ์ระหว่างความสูงของฐานเมฆที่ได้จากสมการ กับค่าความสูงของฐานเมฆที่ตรวจจากเครื่องมือตรวจวัดความสูงของเมฆอัตโนมัติ ดังนี้

จำแนกตามชุดข้อมูล	จำนวนข้อมูล	ค่าสหสัมพันธ์ (r)	แปลผล
รวมชุดข้อมูลทั้ง 2 รันเวย์ของสนามบินแม่สอด	7,777	0.016	มีความสัมพันธ์ระดับต่ำ
ชุดข้อมูลรันเวย์ 09	3,848	0.015	มีความสัมพันธ์ระดับต่ำ
ชุดข้อมูลรันเวย์ 27	3,929	0.018	มีความสัมพันธ์ระดับต่ำ
ชุดข้อมูลในช่วงฤดูหนาวทั้ง 2 รันเวย์	993	0.064	มีความสัมพันธ์ระดับต่ำ
ชุดข้อมูลในช่วงฤดูหนาวรันเวย์ 09	454	0.103	มีความสัมพันธ์ระดับต่ำ
ชุดข้อมูลในช่วงฤดูหนาวรันเวย์ 27	539	0.029	มีความสัมพันธ์ระดับต่ำ
ชุดข้อมูลในช่วงฤดูร้อนทั้ง 2 รันเวย์	1,515	0.100	มีความสัมพันธ์ระดับต่ำ
ชุดข้อมูลในช่วงฤดูร้อนรันเวย์ 09	787	0.100	มีความสัมพันธ์ระดับต่ำ
ชุดข้อมูลในช่วงฤดูร้อนรันเวย์ 27	728	0.100	มีความสัมพันธ์ระดับต่ำ
ชุดข้อมูลในช่วงฤดูฝนทั้ง 2 รันเวย์	5,269	0.209	มีความสัมพันธ์ระดับต่ำ
ชุดข้อมูลในช่วงฤดูฝนรันเวย์ 09	2,607	0.203	มีความสัมพันธ์ระดับต่ำ
ชุดข้อมูลในช่วงฤดูฝนรันเวย์ 27	2,662	0.216	มีความสัมพันธ์ระดับต่ำ

ตารางที่ 2 ตารางสรุปค่าสหสัมพันธ์ระหว่างความสูงของฐานเมฆที่ได้จากสมการ กับค่าความสูงของฐานเมฆที่ตรวจจากเครื่องมือตรวจวัดความสูงของเมฆอัตโนมัติ

1. ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างความสูงของฐานเมฆที่ได้จากสมการ กับค่าความสูงของฐานเมฆที่ตรวจจากเครื่องมือตรวจวัดความสูงของเมฆอัตโนมัติ พบว่า มีค่าความสัมพันธ์อยู่ในระดับต่ำ
2. มีค่าความสัมพันธ์มากที่สุดในช่วงฤดูฝน โดยมีความสัมพันธ์กัน 20.9% รองลงมาคือ ในช่วงฤดูร้อน โดยมีความสัมพันธ์กัน 10.0%
3. มีค่าความสัมพันธ์น้อยที่สุดเมื่อทดสอบแทนค่าสมการโดยไม่แบ่งแยกข้อมูลตามฤดูกาล พบว่ามีความสัมพันธ์กันเฉลี่ย 1.6% ซึ่งถือว่ามีความสัมพันธ์ระดับต่ำ
4. ค่าความสูงของฐานเมฆที่ได้จากการคำนวณในสมการมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย เท่ากับ 32% จึงไม่สามารถนำมาใช้ในการรายงานได้

4.2 ข้อเสนอแนะ

1. ลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนของสนามบินแม่สอด และสนามบินสุวรรณภูมิ ส่งผลให้ค่าคงที่ในสมการประมาณค่าความสูงของฐานเมฆของแต่ละสนามบินควรมีค่าที่แตกต่างกัน
2. อาจยังมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการหาค่าความสูงของฐานเมฆนอกเหนือจากปัจจัยที่นำมาใช้ในการทดสอบ
3. สามารถนำผลการศึกษานี้ไปต่อยอดประยุกต์ใช้ทฤษฎีเพื่อเป็นแนวทางหาสมการหาความสูงฐานเมฆที่เหมาะสมของแต่ละสนามบิน

บรรณานุกรม

[1] รุจิราพรรณ รุ่งรอด. (2543). ลม ฟ้า อากาศ. กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์

[2] ชูเกียรติ ไทยจรัสเสถียร. (2541).วิธีการประมาณค่าความสูงของฐานเมฆที่เหมาะสม

[3] สุรางคนา จงสวัสดิ์. (2558). การประมาณค่าความสูงของฐานเมฆจากอุณหภูมิผิวพื้น

[4] รังสรรค์ อาภาคัพภะกุล. (2547). อุตุนิยมวิทยาเบื้องต้น. กรุงเทพฯ : สานักพิมพ์จุฬาลงกรณ์

[5] กองอุตุนิยมวิทยาการบิน. (2563). คู่มือมาตรฐานการตรวจและรายงานอากาศการบินแบบ METAR และ

SPECI (คู่มือมาตรฐาน เลขที่ ๕๕๑.๕๐๑.๙–๐๕–๒๕๖๓). กรุงเทพ ฯ : กรมอุตุนิยมวิทยา

[6] กองอุตุนิยมวิทยาการบิน. (2563). คู่มือมาตรฐานการตรวจและรายงานอากาศการบินแบบประจำ และ

แบบพิเศษ (คู่มือมาตรฐาน เลขที่ ๕๕๑.๕๐๑.๙–๐๖–๒๕๖๓). กรุงเทพ ฯ : กรมอุตุนิยมวิทยา

[7] สมพงษ์ มะนะสุทธิ์. (2543). อุตุนิยมวิทยาทั่วไป. กรุงเทพฯ : สานักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคาแหง

[8] https://cloudatlas.wmo.int/en/clouds-definitions.html

[9] Bill Maynard. (2010, 15 February). CALCULATION OF THE AMOUNT OF SKY COVER. AMOFSG/8-IP, 2010 (No.5), 2.

[10] ขั้นตอนการควบคุมจราจรทางอากาศ https://www.aerothai.co.th/th/services/

[11] Susan Parson. (2015, March/April). Your Safety Reserve. FAA Safety Briefing, 2015, 30. https://www.faa.gov/newsroom/safety-briefing/faa-safety-briefing-marchapril-2015

[12] ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง. (2562). สรุปการจัดการความรู้ (KM) ประจำปี พ.ศ.2562 เรื่องแผนภูมิเทอร์โมไดนามิคส์แบบสกิวทีลอการิทึมพี

[13] Correlation, https://www.coraline.co.th/single-post/basic-statistic-2

[14] http://nakronmaesot.blogspot.com/2016/03/blog-post_9.html

[15] https://th.wikipedia.org/wiki/ท่าอากาศยานนานาชาติแม่สอด

[16] https://aip.caat.or.th/2020-01-02-AIRAC/html/eAIP/VT-AD-2.VTPM-en-GB.html