

กระแสน้ำอากาศปั่นป่วน (Turbulence)

กล่าวนำ (Introduction)

การไหลของกระแสน้ำอากาศมักจะมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางหรือความเร็วอย่างต่อเนื่อง ทั้งที่ระดับต่ำและระดับสูงในทุกฤดูกาล ขณะที่กระแสน้ำอากาศเกิดจากการกระเพื่อมหรือหมุนวนในบรรยากาศทั้งแนวระดับหรือแนวตั้ง เราเรียกว่า กระแสน้ำอากาศปั่นป่วน (Turbulence)

การศึกษสาเหตุและสถานที่ซึ่งก่อให้เกิดกระแสน้ำอากาศปั่นป่วน จะช่วยให้ผู้เกี่ยวข้องมีความเข้าใจและสามารถลดความรุนแรงของกระแสน้ำอากาศปั่นป่วน ที่มีต่ออากาศยานและผู้โดยสาร

1. ประเภทของกระแสน้ำอากาศปั่นป่วน (Types of Turbulence) สามารถแบ่งออกได้ ดังนี้

1.1 กระแสน้ำอากาศปั่นป่วนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอากาศในทางตั้ง (Convective Turbulence)

จัดเป็นกระแสน้ำอากาศปั่นป่วนที่เกิดในระดับต่ำ เกิดจากกระแสน้ำอากาศลอยตัวและจมตัว เนื่องจากกระแสน้ำอากาศจมตัวมักเกิดเป็นบริเวณกว้าง ทำให้มีความเร็วในทางตั้งน้อยกว่ากระแสน้ำอากาศลอยตัว กระแสน้ำอากาศปั่นป่วนชนิดนี้มีความรุนแรงมากในช่วงเวลาบ่ายของฤดูร้อน และมีลมพัดอ่อน หากลมแรงจะขัดขวางการเกิดกระแสน้ำอากาศปั่นป่วนชนิดนี้ และทำให้ความรุนแรงลดลง อากาศที่ได้รับความร้อนบริเวณผิวพื้นจะทำให้เกิดอากาศไม่ทรงตัวในระดับต่ำๆ และอากาศร้อนนั้นจะลอยตัวสูงขึ้น ถ้าอากาศที่ผิวพื้นได้รับความร้อนมากขึ้น จะยังทำให้การลอยตัวของอากาศได้สูงและรุนแรงขึ้น บริเวณพื้นทรายหรือที่ถูกปกคลุมด้วยก้อนหินและทุ่งนา เมื่อได้รับความร้อน มักร้อนกว่าพื้นน้ำหรือพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมอยู่ ความรุนแรงของกระแสน้ำอากาศที่ลอยขึ้นเหนือบริเวณดังกล่าวมีไม่เท่ากัน เมื่อเครื่องบินบินผ่านบริเวณดังกล่าวหรือขณะร่อนลงสู่สนามบิน จะพบกับกระแสน้ำอากาศปั่นป่วนชนิดนี้

เมื่อกระแสน้ำอากาศลอยตัวสูงขึ้น จะเย็นตัวลงเนื่องจากการขยายตัว และการลอยตัวจะเกิดต่อเนื่องจนถึงระดับที่อุณหภูมิของกระแสน้ำอากาศใกล้เคียงกับสภาวะแวดล้อม ถ้าอากาศอึดตัวจะเกิดเมฆ ดังนั้น บางครั้งกระแสน้ำอากาศปั่นป่วนชนิดนี้จึงปรากฏเมฆคิวมูลัส (Cumulus) หรือคิวมูโลนิมบัส (Cumulonimbus) ให้เห็น และกระแสน้ำอากาศปั่นป่วนชั้นรุนแรงมักพบบริเวณใต้ฐานเมฆหรือภายในก้อนเมฆ แต่ไม่พบบริเวณเหนือเมฆ หากอากาศแห้งมากจะไม่ปรากฏเมฆให้เห็น จึงควรระมัดระวังเนื่องจากมองไม่เห็นกระแสน้ำอากาศปั่นป่วนบริเวณดังกล่าว

เมื่อเครื่องบินเผชิญกับกระแสน้ำอากาศปั่นป่วน จะมีการตอบสนองแตกต่างกัน ขึ้นกับปัจจัยต่อไปนี้

- ความรุนแรงของกระแสน้ำอากาศ
- คุณลักษณะของเครื่องบิน เช่น ความเร็ว น้ำหนัก รูปร่าง ลักษณะของปีก
- เทคนิคการบิน

ในขณะที่บินผ่านกระแสน้ำอากาศปั่นป่วนแม้ว่าจะใช้ความเร็วสูง อาจเกิดการสั่นอย่างรุนแรงได้เนื่องจากเครื่องบินเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ในทางตั้งเร็วมากยิ่งขึ้นนั่นเอง ดังนั้นเพื่อลดความรุนแรงของกระแสน้ำอากาศปั่นป่วนประเภทนี้ จึงควรยึดตรึงที่นั่งให้แน่น และปฏิบัติตามคู่มือการบินเมื่อบินผ่านกระแสน้ำอากาศปั่นป่วน

1.2 กระแสอากาศปั่นป่วนจากลักษณะของผิวพื้น (Mechanical Turbulence)

เป็นกระแสอากาศปั่นป่วนที่เกิดจากกระแสลมที่ระดับใกล้พื้นดิน พัดผ่านพื้นที่ขรุขระ หรือสิ่งที่ขัดขวางกระแสลม เช่น ต้นไม้ สิ่งปลูกสร้าง และเทือกเขา ซึ่งกระแสลมจะหมุนวนตัวเป็นวงขนาดต่างๆ และกระแสลมวนจะเคลื่อนไปตามการไหลของกระแสลม ซึ่งจะมีผลกระทบต่อการบินมากขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของเครื่องบิน

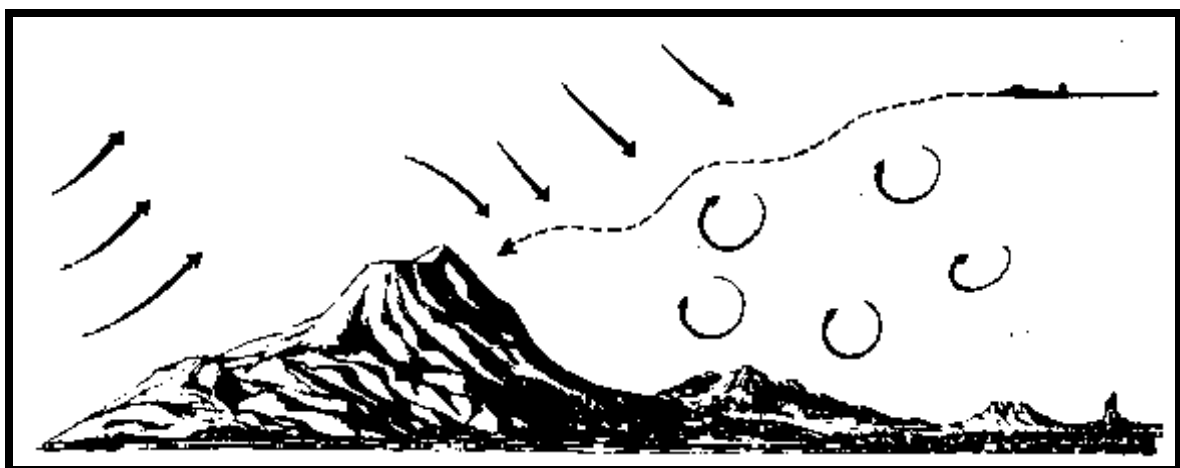
กระแสอากาศปั่นป่วนชนิดนี้เกิดขึ้นได้ดีเพียงใดขึ้นอยู่กับ

- ความขรุขระของพื้นผิว หรือรูปร่างของสิ่งที่ขัดขวางกระแสลม
- ความเร็วกระแสลม
- การทรงตัวของมวลอากาศ

เมื่อกระแสลมมีความเร็วสูง และ/หรือ พื้นผิวมีความขรุขระมาก ความรุนแรงของกระแสอากาศปั่นป่วนจะเพิ่มขึ้นด้วย และถ้าอากาศไม่ทรงตัว (unstable) กระแสลมวนที่เกิดขึ้นจะมีขนาดใหญ่กว่าในกรณีอากาศทรงตัว (stable) แต่จะสลายตัวได้รวดเร็วกว่าอากาศทรงตัว

การเปลี่ยนแปลงของกระแสลมใกล้พื้นดิน มีความสำคัญมากต่ออากาศยานขณะบินขึ้น-ลง โดยเฉพาะอากาศยานขนาดเล็ก กรณีบริเวณสนามบินซึ่งมีสิ่งปลูกสร้างขนาดใหญ่ใกล้ๆ ทางวิ่ง เช่น โรงเก็บเครื่องบินอาจทำให้เกิดกระแสอากาศปั่นป่วนขึ้นได้ ถ้ากระแสลมอ่อน อากาศมวลวน (eddy) ที่เกิดขึ้นจะปกคลุมบริเวณพื้นดินใกล้สิ่งปลูกสร้าง แต่ถ้าความเร็วลมมากกว่า 20 นอต อากาศมวลวนจะไหลออกไปได้เป็นระยะทางไกลๆ ซึ่งเป็นอันตรายต่ออากาศยานขณะลงจอด

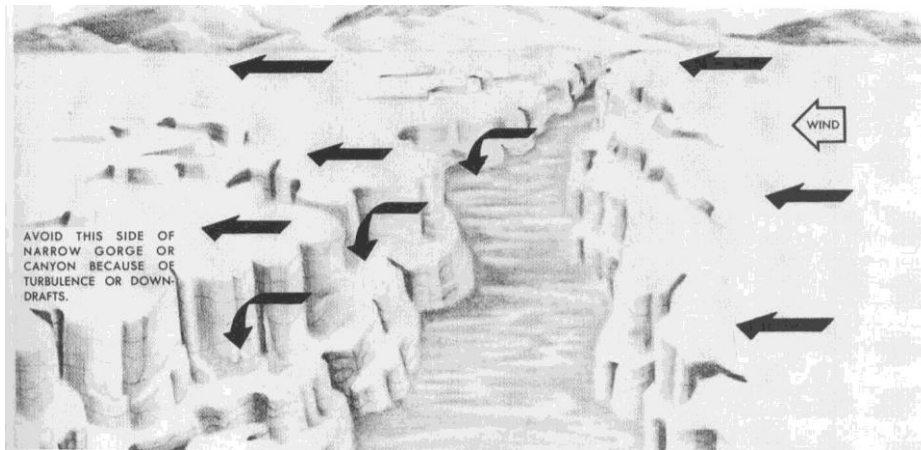
กรณีเมื่อลมพัดผ่านเนินเขาหรือภูเขา มักก่อให้เกิดกระแสอากาศปั่นป่วน และจะมีความรุนแรงมากเมื่อลมมีความเร็วสูง โดยที่กระแสอากาศไหลลงด้านหลังลมจะเป็นอันตรายต่ออากาศยานได้ ดังนั้นควรระลึกไว้เสมอว่าเมื่อทำการบินเข้าสู่ด้านหลังลมของยอดเขาในขณะที่ลมพัดแรง ควรบังคับให้อากาศยานไต่ขึ้นสู่ระดับความสูงเหนือยอดของสิ่งกีดขวางนั้นหลายพันฟุต การบินระดับต่ำนอกจากจะเผชิญกับกระแสอากาศไหลลงแล้วยังมีโอกาสเผชิญกับกระแสอากาศปั่นป่วน และลมขวาง (cross wind) ที่ไหลขนานกับหุบเขา ดังรูปที่ 1-1



รูปที่ 1-1 Wind Flow over Mountain Ranges Produces Turbulence

เมื่อลมพัดผ่านหุบเขา กระแสอากาศไหลลงจะเกิดขึ้นด้านหลังลม ขณะที่กระแสอากาศไหลขึ้นจะเกิดขึ้นด้านรับลม ดังนั้นหากจำเป็นต้องบินผ่านบริเวณดังกล่าว เพื่อความปลอดภัยควรบินไถ่ทางด้านกระแสอากาศไหลขึ้น เพื่อช่วยเพิ่มแรงยกตัวของเครื่องบิน

เมื่อลมพัดผ่านแนวร่องเขาแคบๆ กระแสอากาศส่วนหนึ่งจะไหลลงไปยังร่องเขา จะเกิดกระแสอากาศปั่นป่วนบริเวณกลางของร่องเขาและด้านปลายลม ดังรูปที่ 1-2 ดังนั้นควรหลีกเลี่ยงการบินผ่านบริเวณกระแสลมที่ไหลผ่านร่องเขาเนื่องจากเครื่องบินอาจเสียระยะสูงและชนร่องเขาได้



รูปที่ 1-2

ควรหลีกเลี่ยงการบินผ่านบริเวณภูเขาและหุบเขาขณะที่ลมพัดแรง หากมีกระแสลมที่ระดับยอดเขา ควรบินให้สูงหรือบินอ้อมบริเวณหุบเขาที่อยู่ระหว่างภูเขาจะเป็นทางเลือกที่ดีกว่า

2. กระแสอากาศปั่นป่วนที่ระดับสูง (High Altitude Turbulence)

2.1 บริเวณโทรโพพอส (Tropopause)

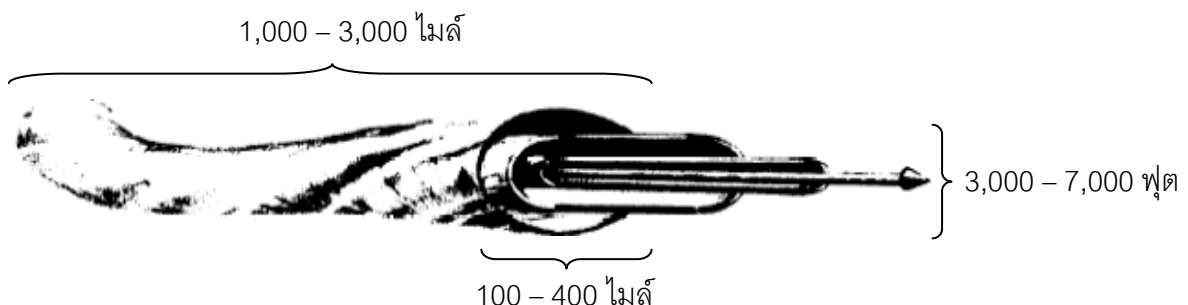
บริเวณโทรโพพอสมักเกิดกระแสอากาศปั่นป่วนได้ดี เพราะมีการเปลี่ยนแปลงในทางดิ่งซึ่งปรากฏภายในหรือบริเวณใกล้กับโทรโพพอส บริเวณที่พบกระแสอากาศปั่นป่วนในระดับของโทรโพพอสมักไม่ปรากฏให้เห็น ดังนั้นจึงถูกจัดเป็นกระแสอากาศปั่นป่วนในอากาศแจ่มใส (Clear Air Turbulence)

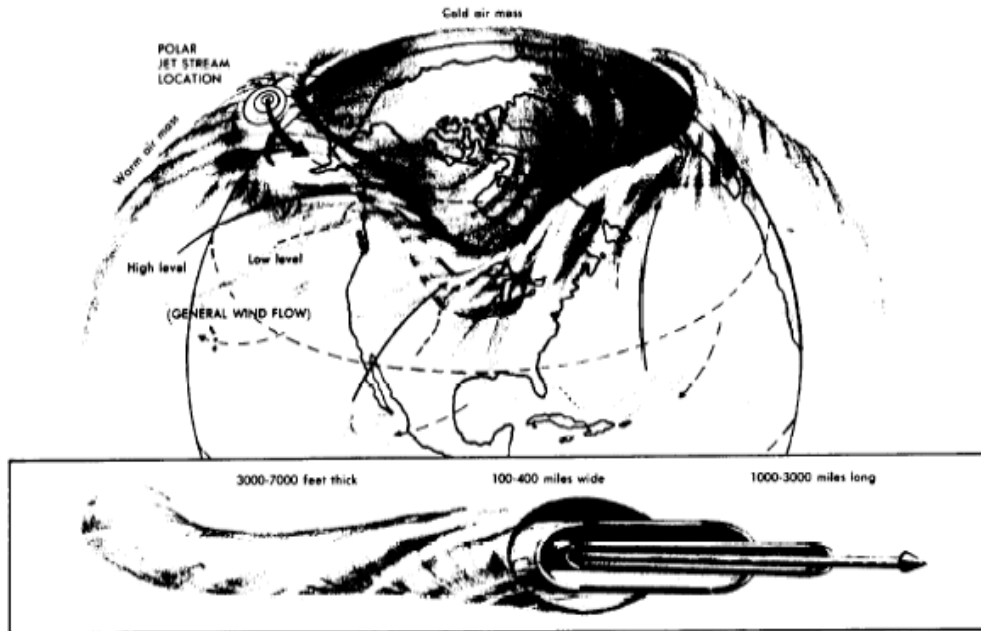
เราทราบว่าโทรโพพอสบริเวณศูนย์สูตรมีความสูงมากกว่าโทรโพพอสบริเวณขั้วโลก และมีรอยแตกอยู่ 2 แห่ง คือ ระหว่างเขตอาร์คติกกับเขตขั้วโลก และเขตขั้วโลกกับเขตร้อน ซึ่งบริเวณรอยแตกดังกล่าวจะพบกระแสลมกรด (Jet Stream)

2.2 กระแสลมกรด (Jet Stream)

จากรูปที่ 1-3 กระแสลมกรดเป็นกระแสลมฝ่ายตะวันตกที่มีความเร็วตั้งแต่ 50 นอต ขึ้นไป พัดเป็นแนวแคบทั้งทางระดับและทางดิ่ง ไหลวนไปรอบๆ โลก คล้ายกับคลื่นซึ่งพบได้ทั้งในซีกโลกเหนือและใต้

กระแสลมกรดบางครั้งอาจมีความเร็วถึง 300 นอต แต่ปกติพบระหว่าง 100 ถึง 150 นอต กระแสลมกรดที่ปรากฏขึ้นจะไม่พบต่อเนื่องไหลไปรอบๆ โลก บ่อยครั้งที่พบว่ามีความยาว 1,000 - 3,000 ไมล์ มีความกว้าง 100 - 400 ไมล์ และมีความหนา 3,000 - 7,000 ฟุต

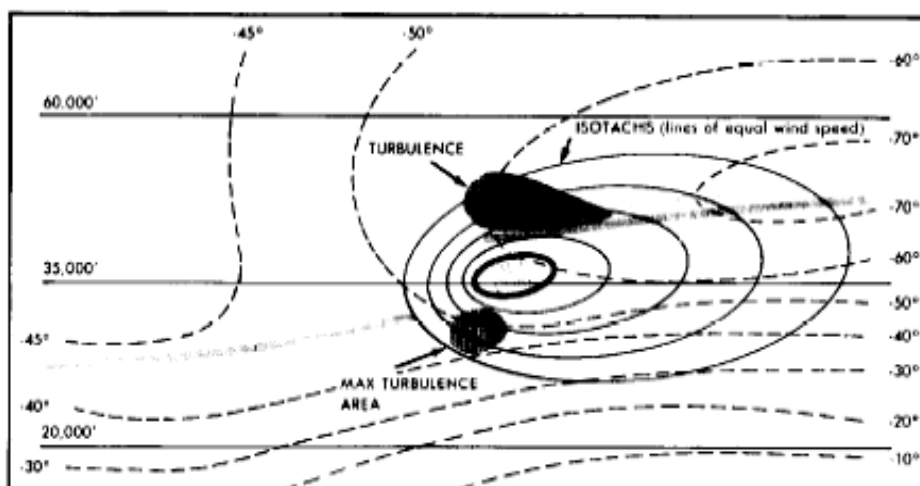




รูปที่ 1-3

กระแสลมกรดที่เกิดบริเวณขั้วโลก มีวงรอบชีวิตต่อเนื่องตั้งแต่ขึ้นการเกิด ทวีความรุนแรง เคลื่อนที่ และสลายตัวไปพร้อมๆ กับการเปลี่ยนแปลงของแนวปะทะอากาศที่ขั้วโลก ซึ่งมีความแรงในช่วงฤดูหนาวมากกว่าในฤดูร้อน จะเคลื่อนตัวต่ำลงมาทางใต้ในฤดูหนาวและขยับสูงขึ้นไปในฤดูร้อน สอดคล้องกับการเคลื่อนตัวของแนวปะทะอากาศบริเวณขั้วโลก ขณะที่กระแสลมกรดเคลื่อนต่ำลงมา ไต่แกนของกระแสลมกรดจะยกตัวไปสู่ระดับที่สูงขึ้นและมักจะมีความเร็วเพิ่มขึ้น แกนของกระแสลมกรด (Maximum Jet Core) อยู่ระหว่าง 25,000 ถึง 40,000 ฟุต ขึ้นอยู่กับละติจูดและฤดูกาล

จากรูปที่ 1-4 พบว่าความเร็วลมสูงสุดของกระแสลมกรดในแนวปะทะอากาศขั้วโลก (Polar Front Jet Stream) พบที่ 5,000 ฟุตได้โทรโพพอสเซชันและปลายของโทรโพพอสเซชันขั้วโลก พบว่าอัตราการลดลงของความเร็วของกระแสลมทางเขตขั้วโลกมีค่ามากกว่าเขตศูนย์สูตร ดังนั้นความรุนแรงของ Wind Shear แถบขั้วโลกจึงมากกว่าแถบศูนย์สูตร แนวปะทะอากาศขั้วโลก (Polar Front) มักจะเกิดและเคลื่อนตามกันไปตามช่วงเวลา และบางครั้งอาจจะเกิดได้หลายแห่งในช่วงเวลาเดียวกัน กระแสลมกรดในแนวปะทะอากาศขั้วโลกก็มีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับแนวปะทะอากาศขั้วโลก



รูปที่ 1-4 Areas of Probable Turbulence in Jet Stream

การทำการบินทุกครั้งควรให้ความสนใจรายละเอียดของกระแสลมกรด เนื่องจากมีผลกระทบหลายอย่างต่อการบินในเที่ยวบินนั้น เช่นการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง หรืออาจต้องมีการวางแผนเปลี่ยนเส้นทางบิน โดยการเผชิญกับ Wind Shear ซึ่งทำให้เกิดกระแสอากาศปั่นป่วน จำเป็นต้องเปลี่ยนระยะสูงด้วย

2.3 กระแสอากาศปั่นป่วนในอากาศแจ่มใส (Clear Air Turbulence : CAT)

คำว่ากระแสอากาศปั่นป่วนในอากาศแจ่มใส เป็นคำใช้เรียกระแสอากาศที่ทำให้เครื่องบินขณะทำการบินเกิดการกระแทกหรือกระเพื่อมไปมาในอากาศที่ปราศจากเมฆ แต่บางครั้งอาจเกิดพร้อมกับมีเมฆชั้นสูงประเภท Cirrus Cloud และมีชั้นหมอกแคดปกคลุมอยู่ จากการศึกษพบว่าประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ ของกระแสอากาศปั่นป่วนชนิดนี้ไม่มีเมฆปรากฏให้เห็น

กระแสอากาศปั่นป่วนในอากาศแจ่มใส แตกต่างจากกระแสอากาศปั่นป่วนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอากาศในทางดิ่ง กระแสอากาศปั่นป่วนภายในเมฆพายุฟ้าคะนองและกระแสอากาศปั่นป่วนจากลักษณะของผิวพื้น ซึ่งสามารถบอกตำแหน่งการเกิดได้ชัดเจน กระแสอากาศปั่นป่วนในอากาศแจ่มใสมักจะพบเหนือระดับ 15,000 ฟุต นอกกลุ่มเมฆก้อน พร้อมกับการเปลี่ยนความเร็วของลมแนวตั้ง (Vertical Wind Shear) และ/หรือ แนวระดับ (Horizontal Wind Shear) นอกจากจะพบกระแสอากาศปั่นป่วนในอากาศแจ่มใสบริเวณตำแหน่งที่พบกระแสลมกรดแล้ว และสามารถพบ Strong Wind Shear ได้อีกด้วย

หากพบกระแสอากาศปั่นป่วนชนิดนี้ บริเวณกระแสลมกรดในตำแหน่งลมส่งท้ายหรือลมต้าน ควรเปลี่ยนระดับบินหรือเปลี่ยนตำแหน่งของเครื่องบิน เพราะกระแสอากาศปั่นป่วนที่พบบริเวณนี้มักขยายตัวไปตามกระแสลม แต่มีความตื้นและแคบบ่อยครั้งที่พบกระแสอากาศปั่นป่วนชนิดนี้มีความหนา 2,000 ฟุต กว้าง 20 ไมล์ และยาว 50 ไมล์

หากพบกระแสอากาศปั่นป่วนชนิดนี้ บริเวณกระแสลมกรดในลักษณะลมขวางทิศ มักไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนตำแหน่งของเครื่องบินหรือระดับบิน แต่อย่างไรก็ตามหากต้องการบินให้พ้นบริเวณกระแสอากาศปั่นป่วนชนิดนี้โดยเร็ว ควรเพิ่มหรือลดระดับบินหลังจากการอ่านค่าอุณหภูมิภายนอกเป็นเวลา 1 หรือ 2 นาที

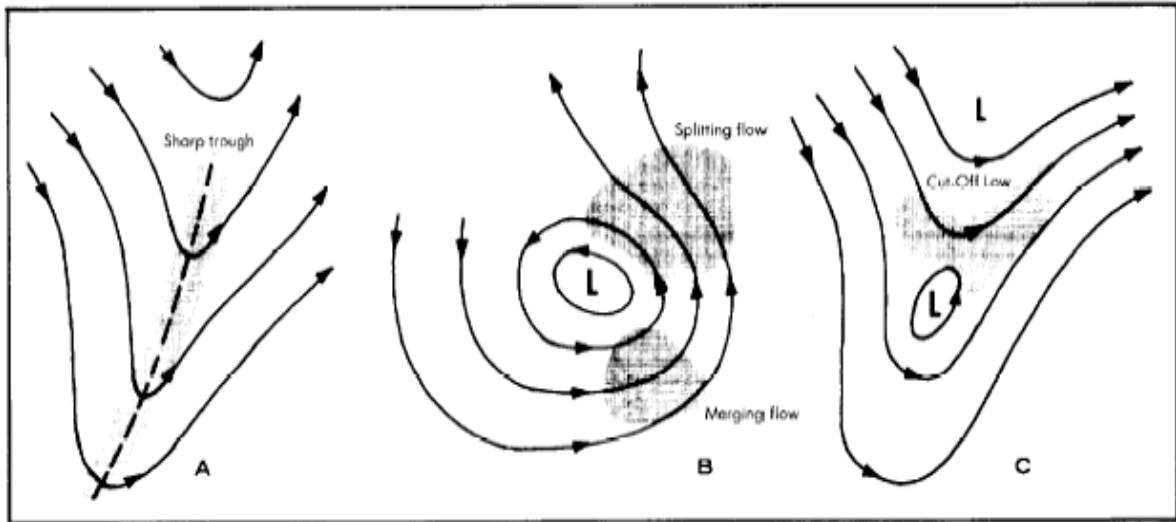
“ ถ้าอุณหภูมิภายนอกเพิ่ม ควรเพิ่มระดับบิน “

“ ถ้าอุณหภูมิภายนอกลด ควรลดระดับบิน “

วิธีการดังกล่าวจะป้องกันการเผชิญกับแนวลาดชันของโทรโพพอส หรือบริเวณพื้นผิวของแนวปะทะอากาศและบริเวณที่มีกระแสอากาศปั่นป่วน ถ้าค่าอุณหภูมิภายนอกไม่เปลี่ยนแปลงสามารถเพิ่มหรือลดระดับบินก็ได้

กระแสอากาศปั่นป่วนในอากาศแจ่มใสสามารถแผ่ขยายขึ้นไปถึงระดับสูงๆ และยังเกิดร่วมกับการไหลของกระแสลมที่ก่อให้เกิด Shear ได้อีกด้วย ในกรณีของร่องความกดอากาศต่ำในระดับความสูงที่มีความลึกและคมชัด เคลื่อนที่ด้วยความเร็วมากกว่า 20 นอต จะพบกระแสอากาศปั่นป่วนชนิดนี้บริเวณใกล้เคียง หรือในร่องความกดอากาศต่ำ แม้ว่าความเร็วของลมค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วของลมใกล้ๆ กระแสลมกรด นอกจากนี้ทิศทางของลมทั้งสองด้านที่อยู่ตรงข้ามกับร่องความกดอากาศต่ำ มีค่าต่างกัน 90 องศา หรือมากกว่า ดังรูปที่ 1-5A

กระแสอากาศปั่นป่วนในอากาศแจ่มใส สามารถพบได้ในบริเวณรอบๆ หย่อมความกดอากาศต่ำที่ปรากฏในระดับสูง (Low Aloft) โดยเฉพาะบริเวณที่มีกระแสอากาศไหลแยกและไหลสลับ ซึ่งปรากฏทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของ Cut of Low ดังรูปที่ 1-5B, 1-5C



รูปที่ 1-5 Wind Patterns Associated with High-Level CAT

อย่างไรก็ตามควรปฏิบัติตามคู่มือการบินของเครื่องบินชนิดนั้น โดยใช้ความเร็วในการบินผ่านกระแสอากาศปั่นป่วนเมื่อเผชิญกับกระแสอากาศปั่นป่วนในอากาศแจ่มใส ซึ่งจะช่วยลดอิทธิพลจากกระแสอากาศปั่นป่วนได้ แต่ถ้ากระแสอากาศปั่นป่วนมีความรุนแรงถึงขั้นที่จะต้องทำการแก้ไขโดยการเปลี่ยนระดับบิน ควรใช้ข้อมูลสภาพอากาศที่ได้รับจากเจ้าหน้าที่พยากรณ์อากาศก่อนทำการบิน หรือขอข้อมูลเพิ่มเติมผ่านระบบการติดต่อสื่อสารระหว่างนักบินกับเจ้าหน้าที่ชาวอากาศ ซึ่งจะช่วยให้การแก้ไขเป็นไปอย่างถูกต้องและหลีกเลี่ยงความรุนแรงที่มีต่อเครื่องบินได้ และสิ่งสำคัญคือ ควรรายงานรายละเอียดเกี่ยวกับกระแสอากาศปั่นป่วนทุกๆ ชนิดที่พบขณะทำการบินทุกครั้ง

3. กระแสอากาศปั่นป่วนที่เกิดจากแนวปะทะอากาศ (Frontal Turbulence)

กระแสอากาศปั่นป่วนชนิดนี้ เกิดจากการยกตัวของอากาศที่อุ่นกว่าตรงส่วนหน้าของแนวปะทะอากาศ เนื่องจากการปะปน หรือความแตกต่างของทิศทางลมในมวลอากาศอุ่นและเย็น จึงเกิดกระแสอากาศปั่นป่วนขึ้น การไหลขึ้นของอากาศจะมีมากเมื่ออากาศอุ่นนั้นมีการทรงตัวไม่ดี และมีความชื้นมาก กระแสอากาศปั่นป่วนชนิดนี้จะรุนแรงที่สุด โดยสังเกตได้จากเมื่อแนวปะทะอากาศเย็นที่เคลื่อนที่เร็ว

4. กระแสอากาศปั่นป่วนที่เกิดจากลมพัดในทิศทางตัดกัน (Wind Shear Turbulence)

การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมหรือลมที่พัดในทิศทางตัดกันตามทางดิ่งหรือทางระดับ (Wind Shear) จะเป็นผลทำให้เกิดกระแสอากาศปั่นป่วนขึ้น ถ้าความเร็วและทิศทางลมมีการเปลี่ยนแปลงมาก ก็เกิดกระแสอากาศปั่นป่วนอย่างรุนแรงตามมา กระแสอากาศปั่นป่วนชนิดนี้มักจะเกิดในบริเวณกระแสลมกรด ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมมากทั้งในทางดิ่งและทางระดับ ลักษณะเช่นนี้มักจะเกิดในบริเวณที่มีอากาศแจ่มใส จึงเรียกว่ากระแสอากาศปั่นป่วนในอากาศแจ่มใส (Clear Air Turbulence) มีรายละเอียดตามหัวข้อ 3.3

กระแสอากาศปั่นป่วนบางครั้งอาจเกิดขึ้นขณะที่เครื่องบินไต่ขึ้นหรือร่อนลงสู่สนามบิน ในขณะที่มีการเพิ่มอุณหภูมิตามระยะสูง ตัวอย่างเช่น ในบริเวณที่มีลมสงบ อากาศเย็นมักจะเกิดขึ้นตามหุบเขา อันเนื่องมาจากความเย็นในตอนกลางคืน ขณะเดียวกันถ้ามีอากาศอุ่นกว่าเคลื่อนเข้ามาซ้อนทับ ความแตกต่างของความเร็วมวลในอากาศทั้งสองนั้นจะทำให้เกิดการปะทะกันขึ้น จึงเกิดกระแสอากาศปั่นป่วนในบริเวณแคบๆ

5. กระแสอากาศปั่นป่วนเนื่องจากพายุฟ้าคะนอง (Thunderstorm Turbulence)

เมฆคิวมูโลนิมบัสซึ่งเติบโตขึ้นจากการที่อากาศเย็นไหลผ่านไบบนพื้นผิวมหาสมุทร อาจแผ่ขยายความสูงของยอดเมฆขึ้นไปได้ถึง 5-7 กิโลเมตร อย่างไรก็ตามยอดเมฆคิวมูโลนิมบัสที่มีความรุนแรงมากในบางครั้งอาจขยายสูงขึ้นไปได้ถึง 9-13 กิโลเมตร และสามารถสูงกว่านี้ได้ในเขตร้อน การเคลื่อนที่ของอากาศในแนวตั้งจะมีอยู่ทั่วทั้งก้อน ทำให้เกิดผลกระทบต่อไปได้ในทุกระดับทั้งที่อยู่เหนือหรือใต้เมฆคิวมูโลนิมบัส

กระแสอากาศไหลขึ้นบริเวณระดับกลางภายในเมฆคิวมูโลนิมบัส จะมีความรุนแรงมากกว่าบริเวณส่วนล่างของเมฆ, บริเวณรอบฐานเมฆและบริเวณยอดเมฆหรือใกล้เคียง

การปั่นป่วนขั้นรุนแรงหรือขั้นรุนแรงมากอาจเกิดขึ้นได้ภายนอกก้อนเมฆ เนื่องจากฝนหนักที่ตกออกมาจากบางส่วนของพาดานเมฆ ฝนหนักซึ่งเป็นตัวการสำคัญที่ก่อให้เกิดกระแสอากาศมีการไหลลงอย่างรุนแรงติดตามมา พร้อมกับการปั่นป่วนของอากาศซึ่งมีอยู่ภายนอกก้อนเมฆ

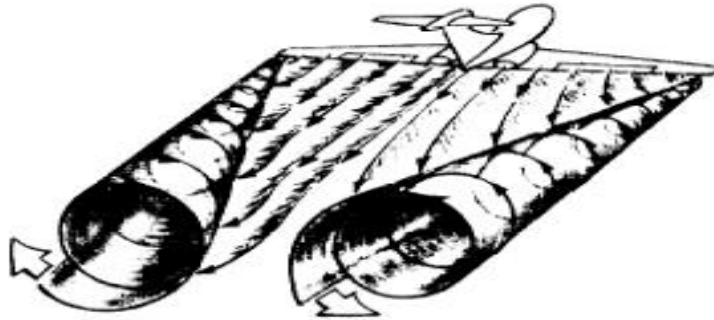
กระแสอากาศปั่นป่วนจะมีความรุนแรงที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละขั้นตอนการเกิดพายุฟ้าคะนอง โดยปกติแล้วความรุนแรงสูงสุดมักเกิดอยู่ในระยะเริ่มต้นของขั้นเจริญเติบโตเต็มที่ แม้ว่ากระแสอากาศไหลลงอยู่เป็นบางส่วน โดยการตกของฝนและลูกเห็บก็ตาม แต่กระแสอากาศไหลขึ้นส่วนอื่นที่ไหลอยู่ภายในก้อนเมฆจะยังคงไหลขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งมีความรุนแรงสูงสุดในบริเวณส่วนบนของก้อนเมฆ โดยปกติแล้วกระแสอากาศไหลลงดังกล่าว มักมีความรุนแรงที่ไม่มากนักและเกิดอยู่เฉพาะตรงส่วนล่างของเมฆพายุฟ้าคะนองเท่านั้น กระแสอากาศที่กำลังไหลลงดังกล่าวจะแผ่กระจายออกไปบริเวณใกล้เคียงพื้นผิวโลก ก่อให้เกิดลมแรงที่มีความรุนแรงมาก (Severe Squall)

การหลีกเลี่ยงกระแสอากาศปั่นป่วนเนื่องจากพายุฟ้าคะนอง ควรอาศัยพื้นฐานมาจากการสังเกตของนักบินเอง ประกอบกับระยะสูงของพาดานบินในเที่ยวบินนั้น กล่าวโดยทั่วไป การบินในระดับฐานหรือใต้เมฆพายุฟ้าคะนอง จะมีโอกาสพบกับกระแสอากาศปั่นป่วนขั้นรุนแรงมาก ได้น้อยกว่าการบินบริเวณระดับกลางของเมฆพายุฟ้าคะนองนั้น

ในการบินที่ระดับสูง ควรบินเหนือยอดเมฆพายุฟ้าคะนอง หากจำเป็นต้องบินผ่านเข้าไปในเมฆพายุฟ้าคะนอง ควรหลีกเลี่ยงบริเวณที่มีน้ำฟ้า และการปั่นป่วนมากที่สุด โดยใช้เครื่องมือต่างๆ เช่น เรดาร์ตรวจอากาศประจำเครื่องบินและเรดาร์ตรวจอากาศภาคพื้นดินให้เป็นประโยชน์มากที่สุด

6. กระแสอากาศปั่นป่วนเนื่องจากเครื่องบิน (Wake Turbulence)

การบินของอากาศยานทุกแบบจะก่อให้เกิดกระแสอากาศปั่นป่วน ซึ่งมีลักษณะเป็นแบบมววน (Vortex Wake Turbulence) โดยมีจุดเริ่มต้นจากปลายปีกทั้งสองข้าง รูปที่ 1-6 ซึ่งความรุนแรงจะขึ้นอยู่กับน้ำหนักและความเร็วของอากาศยาน รวมทั้งรูปร่างของปีกที่ก่อให้เกิดกระแสมววน ความรุนแรงจะมีค่ามากที่สุดเมื่ออากาศยานมีน้ำหนักมาก ผิวเรียบ และบินด้วยความเร็วต่ำ (Heavy, Clean, Slow) เคยมีการบันทึกว่าความเร็วในการหมุน (Vortex Tangential Velocities) มีค่าสูงถึง 130 นอต

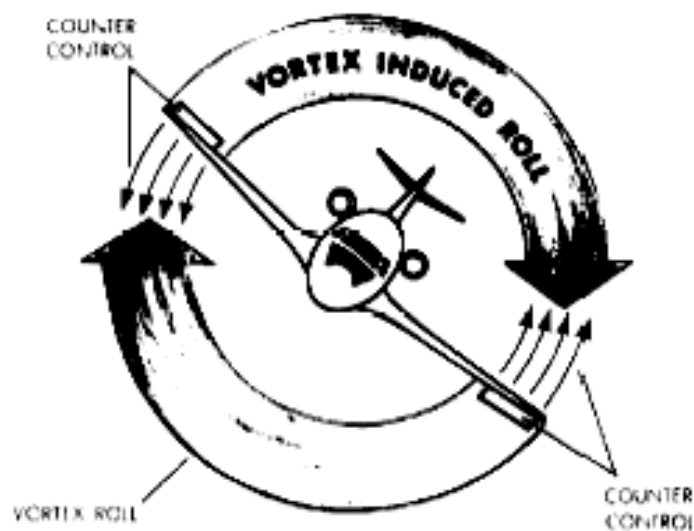


รูปที่ 1-6 Counter-Rotating Vortices

การหมุนของกระแสอากาศอย่างรุนแรงในลักษณะเป็นรูปกรวย สามารถเป็นอันตรายต่ออากาศยานได้ โดยอันตรายในเบื้องต้นได้แก่ การสูญเสียการควบคุมอันมีสาเหตุจากการหมุนควงของอากาศยาน รูปที่ 1-7 ซึ่งการแก้ไขจะมีข้อจำกัดขึ้นอยู่กับความกว้างของปีก และการตอบสนองของเครื่องต่อการบังคับแก้ไขนั้น ถ้าอากาศยานมีขนาดค่อนข้างใหญ่และส่วนของปีกและครีบบีบพับก้มเงย (Ailerons) มีความยาวเลยออกมานอก กระแสมวลวน การบังคับแก้ไขจะทำได้ผล และการหมุนควงจะไม่รุนแรง

กระแสมวลวนที่เกิดจากส่วนท้ายของอากาศยานมีคุณลักษณะเฉพาะ ซึ่งผู้ทำการในอากาศควรรู้เมื่อมีการเกิด และตำแหน่งที่เกิดของกระแสมวลวนนั้น เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงอันตรายที่อาจมีตามมา

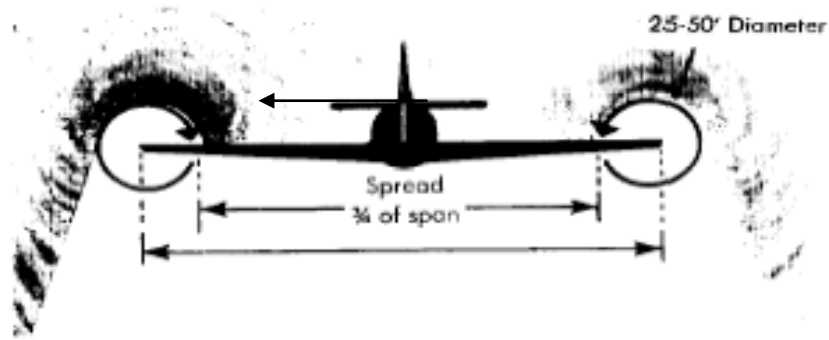
- กระแสมวลวนเริ่มต้นการเกิดและการหมุนตัวเมื่อล้ออากาศยานพ้นพื้นขณะบินขึ้น และจะสิ้นสุดเมื่อล้อแตะพื้นขณะลงจอด



รูปที่ 1-7 Induced Roll

- ทิศทางการไหลของกระแสอากาศมวลวน จะเริ่มจากหมุนออกข้างนอกแล้วขึ้นข้างบน และจากนั้นหมุนวนรอบปลายปีก แขนของการหมุนมีขนาดตั้งแต่ 25 - 50 ฟุต และจะเกิดอยู่คู่กันจนกระทั่งสลายตัวไป

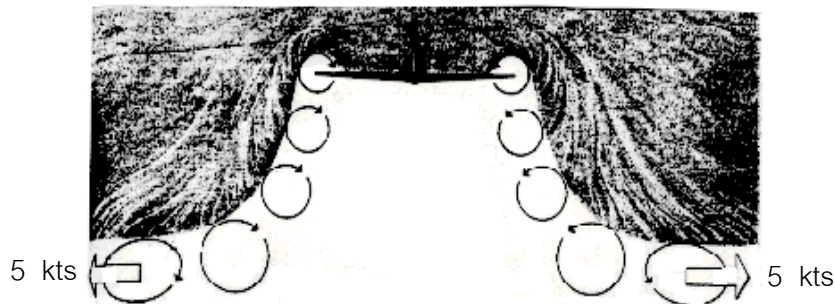
รูปที่ 1-8



รูปที่ 1-8 Vortex Circulation

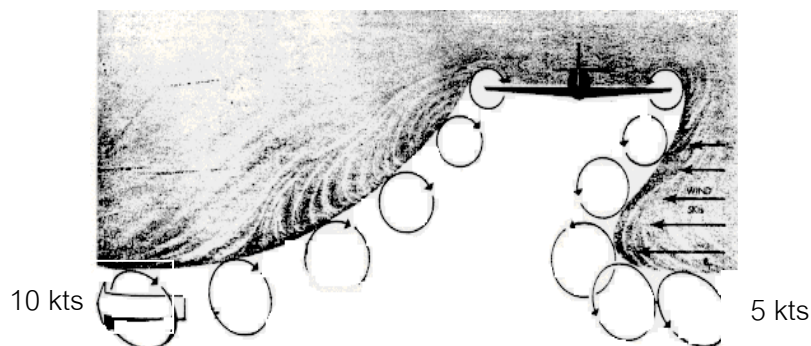
- กระแสลมวนจะมีอัตราการจมตัว 400-500 ฟุตต่อนาที และจะสลายตัวเมื่อจมตัวได้ประมาณ 800-900 ฟุต จึงควรบินที่ระดับเดียวกัน หรือเหนือกว่าอากาศยานที่นำหน้า
- เมื่อกระแสลมวนจมตัวลงถึงพื้นด้านล่าง จะเคลื่อนที่ไปด้านข้างด้วยความเร็ว 5 นอต

รูปที่ 1-9



รูปที่ 1-9 Vortex Movement In Ground Effect (No Wind)

ผู้ทำการในอากาศควรระมัดระวังความรุนแรงของกระแสลม ซึ่งเป็นผลมาจากการที่มีลมขวางสนามในเวลานั้น รูปที่ 1-10



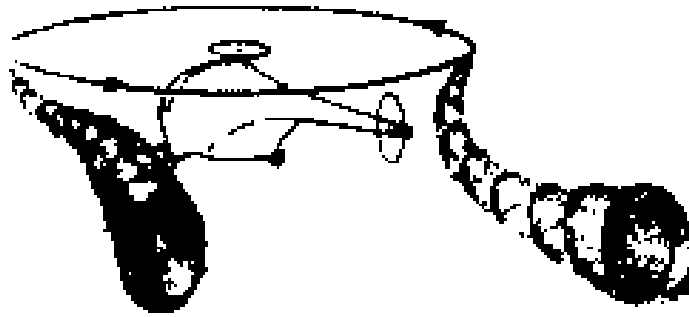
รูปที่ 1-10 Vortex Movement In Ground Effect (Cross Wind)

อย่างไรก็ตามในกรณีที่เป็นตามลม (Tail Wind) กระแสอากาศมววนอาจถูกพัดเข้าไปสู่บริเวณที่เครื่องจะร่อนลงได้

- กระแสลมวนจะคงอยู่ได้นานกว่าปกติในขณะเกิดการเพิ่มอุณหภูมิตามระยะสูง (Inversion) ดังนั้นเมื่ออยู่ในสภาวะดังกล่าว ควรจะเพิ่มระยะห่างระหว่างเครื่องบินให้มากกว่าปกติ

- ถ้าอากาศทรงตัวดีและลมสงบ ความปั่นป่วนอาจจะอยู่ได้นาน 5 นาทีหรือมากกว่า หากมีลมแรงขึ้นกระแสมวลวนจะอยู่นานขึ้น และระยะทางของกระแสอากาศปั่นป่วนจะเพิ่มมากขึ้นด้วยตามทิศทางที่ลมพัดไป และถ้าอากาศทรงตัวไม่ดี กระแสมวลวนจะสลายตัวได้เร็ว

ใบพัดหลักของเฮลิคอปเตอร์สามารถทำให้เกิดกระแสมวลวนลงสู่ด้านล่างได้ ซึ่งเมื่อบินไปข้างหน้า กระแสมวลวนจะมีลักษณะการเกิดคล้ายกับที่เกิดบริเวณปลายปีกของอากาศยานปีกตรึง รูปที่ 1-11 ยิงเฮลิคอปเตอร์มีขนาดใหญ่ อันตรายจะมีมากขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 1-11 Helicopter Vortices

ภายใต้หลักเกณฑ์เงื่อนไขของการควบคุมการจราจรทางอากาศ จะกำหนดให้เว้นระยะห่างเมื่อบินตามหลังอากาศยานขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตามขึ้นอยู่กับความตัดสินใจ และเป็นความรับผิดชอบของผู้ทำการในอากาศ เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงความเสี่ยงต่อการประสบกับกระแสอากาศมวลวน และข้อปฏิบัติที่ควรทราบได้แก่

1. เมื่ออยู่ในเส้นทางบิน ให้บินระดับเดียวกันหรือเหนือขึ้นไป เมื่อบินตามอากาศยานขนาดใหญ่
2. เมื่อร่อนลงจอดตามหลังอากาศยานขนาดใหญ่ ให้ลงแตะพื้นในตำแหน่งที่เลยไปจากจุดที่อากาศยานขนาดใหญ่ลงแตะพื้น
3. เมื่อลงแตะพื้นหรือขึ้นจากพื้นหลังการบินขึ้นของอากาศยานขนาดใหญ่ ให้ลงแตะพื้นหรือขึ้นจากพื้นที่ตำแหน่งก่อนที่ถึงจุดที่อากาศยานขนาดใหญ่บินขึ้นจากพื้น

ชั้นความรุนแรงของกระแสอากาศปั่นป่วน

1. กระแสอากาศปั่นป่วนชั้นเบา (Light Turbulence) ในชั้นนี้มักจะเกิดในเมฆคิวมูลัสก้อนเล็กๆ และพบในระดับต่ำๆ เหนือพื้นที่ขรุขระซึ่งมีความเร็วลมน้อยกว่า 25 นอต บางครั้งจะพบในระดับต่ำๆ เหนือพื้นที่ที่ได้รับความร้อนไม่สม่ำเสมอ

2. กระแสอากาศปั่นป่วนชั้นปานกลาง (Moderate Turbulence) มักจะเกิดจากปรากฏการณ์ต่อไปนี้

2.1 เกิดขึ้นในบริเวณคลื่นภูเขา (Mountain Wave) เมื่อมีความเร็วลมประมาณ 20-50 นอต หรือสูงกว่า และพัดในทิศทางตั้งฉากกับเทือกเขา อาจเกิดขึ้นได้ตั้งแต่ผิวพื้นจนถึง 10,000 ฟุต เหนือโทรโพพอส และแผ่ออกไปเป็นระยะทางถึง 300 ไมล์ ทางด้านหลังลม หรือภายในบริเวณเมฆเซอร์รัส (Cirrus) ที่เกิดร่วมกับคลื่นภูเขานั้น

2.2 เกิดขึ้นเมื่อคลื่นภูเขามีความเร็วประมาณ 25-50 นอต พัดในทิศทางเกือบตั้งฉากกับเทือกเขา โดยจะเกิดขึ้นระหว่างผิวพื้นกับโทรโพพอส และแผ่ออกไปเป็นระยะทาง 150 ไมล์ ทางด้านหลังลม หรือภายในบริเวณเมฆเซอร์รัสของคลื่นภูเขานั้น

2.3 เกิดอยู่ภายในและรอบๆ พายุฟ้าคะนอง รวมทั้งส่วนบนของพายุฟ้าคะนองชั้นสลายตัว หรือภายในยอดเมฆ

2.4 ในกระแสลมกรด มักจะพบในระดับความสูงของแกนกลางของกระแสลมกรด (Jet Core) และต่ำลงมา 5,000 ฟุต และจากแกนกลางของกระแสลมกรดเป็นระยะทางยาวถึง 250 ไมล์ ไปทางด้านอากาศเย็นของแกนกลาง หรือภายในเมฆเซอร์รัสอันเกิดจากกระแสลมกรด

2.5 ในเมฆก้อน (Cumuliform) จะพบในเมฆคิวมูลัสที่หนาหรือมีขนาดใหญ่ (Towering Cumulus)

2.6 เมื่อลมผิวพื้นมีความเร็วเกิน 25 นอต ขึ้นไป มักจะเกิดขึ้นใกล้ๆ กับพื้นดิน

2.7 ในร่องความกดอากาศต่ำชั้นบน ความกดอากาศต่ำที่มีศูนย์กลางเย็น หรือแนวปะทะอากาศเบื้องบน (Upper Trough, Cold Low or Front Aloft) มักจะพบในบริเวณที่มีลมพัดตัดกันในทางตั้ง มากกว่า 6 นอต ต่อ 1,000 ฟุต หรือในทางระดับมากกว่า 40 นอต ต่อ 150 ไมล์

2.8 บรรยากาศที่มีการทรงตัวไม่เสถียร มักจะเกิดที่ระดับต่ำๆ โดยที่ความชื้นในอากาศนั้นไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดเมฆคิวมูลัสหรือคิวโมโลนิมบัสขึ้นได้

3. กระแสอากาศปั่นป่วนขั้นรุนแรง (Severe Turbulence) มักจะเกิดขึ้นได้ดังนี้

3.1 ในคลื่นภูเขา เมื่อความเร็วลมตั้งแต่ 50 นอตขึ้นไป พัดในทิศทางเกือบตั้งฉากกับเทือกเขา กระแสอากาศปั่นป่วนขั้นนี้เกิดขึ้นตั้งแต่ผิวพื้นจนถึงโทรโพพอส และแผ่ออกไปเป็นระยะทาง 150 ไมล์ ทางด้านหลังลม

3.2 ในคลื่นภูเขา เมื่อความเร็วลม 20-50 นอต พัดในทิศทางเกือบตั้งฉากกับเทือกเขา กระแสอากาศปั่นป่วนขั้นนี้จะเกิดขึ้นทางด้านหลังลม แผ่ออกไปเป็นระยะทางยาวถึง 50 ไมล์

3.3 ภายในและรอบๆ พายุฟ้าคะนองชั้นเจริญเติบโตเต็มที่

3.4 ในกระแสลมกรด ซึ่งพบไม่บ่อยนักในระดับระหว่างแกนกลางของกระแสลมกรด และต่ำลงมา 5,000 ฟุต และประมาณ 50-150 ไมล์ ไปทางด้านอากาศเย็นของแกนกลางของกระแสลมกรด

3.5 จะพบในเมฆก้อน โดยเฉพาะในเมฆคิวมูลัสขนาดใหญ่

4. กระแสอากาศปั่นป่วนขั้นรุนแรงมาก (Extreme Turbulence) มีหลักพอจะสังเกตได้ดังต่อไปนี้

4.1 ในคลื่นภูเขา เมื่อมีความเร็วลมตั้งแต่ 50 นอตขึ้นไป พัดในทิศทางเกือบตั้งฉากกับเทือกเขา กระแสอากาศปั่นป่วนขั้นนี้จะเกิดในระดับต่ำๆ ทางด้านหลังลม หรือใกล้ๆ กับเมฆม้วน (Rotor Cloud)

4.2 ในคลื่นภูเขา เมื่อความเร็วลม 20-50 นอต และพัดในทิศทางเกือบตั้งฉากกับเทือกเขา กระแสอากาศปั่นป่วนขั้นนี้ จะพบในระดับต่ำด้านหลังลมไม่บ่อยครั้งนัก (Infrequently)

4.3 ในพายุฟ้าคะนอง จะพบในขณะที่เมฆกำลังเจริญเติบโต (สังเกตได้จากว่ามีลูกเห็บ ฝนตกหนัก เห็นภาพของเมฆไม่ชัดเจนจากจอร์เรดาร์ตรวจอากาศ หรือเกิดฟ้าแลบติดต่อกันเกือบตลอด)

4.4 มีกระแสอากาศเนื่องจากความร้อน ลมตัดกัน หรือคลื่นอากาศที่ไม่เคลื่อนที่ (Convection, Wind Shear or Standing Wave) อย่างรุนแรง

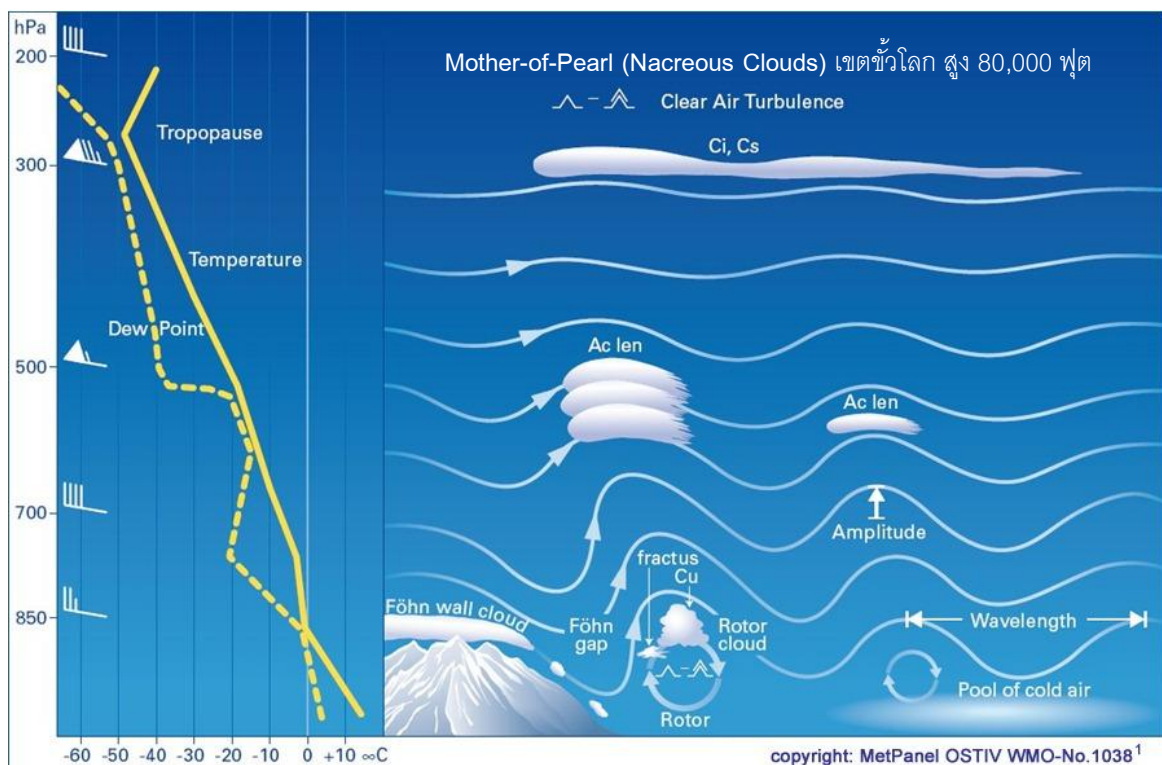
คลื่นภูเขา (Mountain Wave)

1. กล่าวโดยทั่วไป

คลื่นภูเขาเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ซึ่งเกิดจากกระแสลมแรงพัดผ่านแนวเทือกเขา ก่อให้เกิดกระแสอากาศปั่นป่วน (Turbulence) ในชั้นบรรยากาศจากระดับต่ำถึงระดับสูง (Vertical) และแผ่ออกไปในทางระดับ (Horizontal) จากด้านหลังลม (Leeward side) ของแนวเทือกเขาเมื่ออากาศยานผ่าน หรือเข้าไปใกล้บริเวณดังกล่าวมักเกิดอาการกระแทก (Bumping) คล้ายกับตกหลุมอากาศหรือสูญเสียระยะสูง (Altitude) อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้คลื่นภูเขามักก่อให้เกิดเมฆชั้นต่ำปกคลุมบริเวณสันเขาทำให้ทัศนวิสัยขณะทำการบินลดลง เมื่อนักบินไม่สามารถมองเห็นพื้นดินหรือเทือกเขา จึงทำให้อากาศยานเกิดอุบัติเหตุได้ สำหรับประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในฤดูหนาว ย่อมมีโอกาสเกิดคลื่นภูเขาในภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดังนั้น นักอุตุนิยมวิทยาและผู้ทำงานในอากาศ จำเป็นต้องศึกษารายละเอียดของคลื่นภูเขาตามที่จะได้กล่าวต่อไป

2. สภาพที่เหมาะสมแก่การเกิดคลื่นภูเขา

เมื่อกระแสลมพัดเข้าสู่ด้านรับลม (Windward Side) ของแนวเทือกเขาด้วยความเร็ว 25 นอต หรือมากกว่า โดยทิศทางของกระแสลมทำมุมตั้งฉากกับแนวสันเขา หรือเบี่ยงเบนจากมุมตั้งฉากไม่เกิน 50 องศา ถ้ากระแสลมนี้พัดต่อเนื่องจนถึงระดับโทรโปพอส (Tropopause) สภาพดังกล่าวก่อให้เกิดคลื่นภูเขาด้านหลังลมได้ดีขึ้น ตามรูปที่ 1-12



รูปที่ 1-12 สภาพการเกิดคลื่นภูเขา (Mountain Wave)

คลื่นภูเขาที่เกิดขึ้นด้านหลังของแนวเทือกเขาจะมีความรุนแรงและแผ่ออกไปในทางระดับ หรือสูงขึ้นไปในบรรยากาศมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับเงื่อนไข 4 ข้อ คือ

2.1 ทิศทางของกระแสลมที่พัดเข้าสู่ด้านรับลมของแนวเทือกเขา

ถ้ามีทิศทางตั้งฉากกับระดับแนวสันเขา คลื่นภูเขาจะมีความรุนแรงแผ่ออกไปได้ดี และมีความรุนแรงลดลง เมื่อทิศทางเบี่ยงเบนไปจากแนวตั้งฉาก

2.2 ความเร็วของกระแสลมที่พัดเข้าสู่ด้านรับลมของแนวเทือกเขา

ถ้ากระแสลมมีความเร็วสูงต่อเนื่องจากระดับแนวสันเขาถึงระดับโทรโพพอส และความเร็วลมเพิ่มขึ้นตามระยะสูง คลื่นภูเขาจะมีความรุนแรงแผ่ออกไปได้ดี และมีความรุนแรงลดลงเมื่อความเร็วของกระแสลมลดลง

2.3 ลักษณะของแนวเทือกเขา

ถ้าแนวเทือกเขาด้านรับลมมีความลาดชันน้อย (Gentle Windward Slope) และด้านหลังลมมีความลาดชันมาก (Steep Leeward Slope) จะมีโอกาสเกิดคลื่นภูเขาที่มีความรุนแรงได้มากที่สุด และถ้าเทือกเขานี้มีความสูงมาก มีการวางตัวเป็นแนวยาวต่อเนื่อง ทำมุมตั้งฉากกับทิศทางลม คลื่นภูเขาจะมีความรุนแรงแผ่ออกไปได้ดี

2.4 การทรงตัวของบรรยากาศที่ปกคลุมด้านรับลมและด้านหลังลมของแนวเทือกเขา

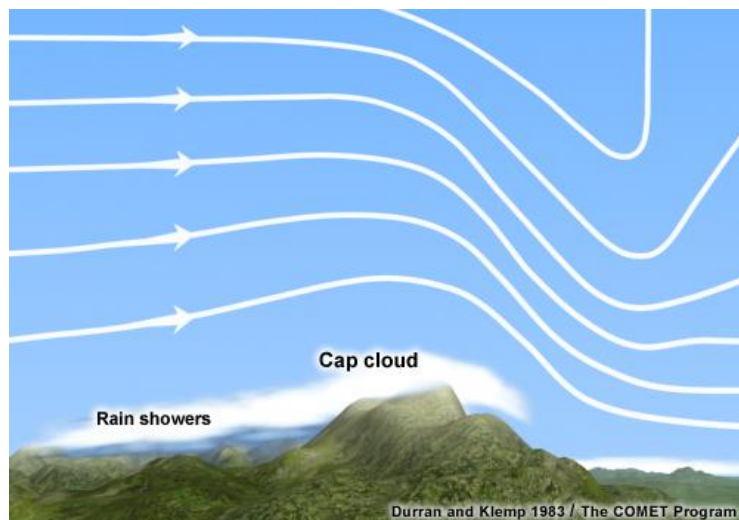
ถ้าบรรยากาศมีการทรงตัวดี (Stable Atmosphere) คลื่นภูเขาจะมีความรุนแรงแผ่ออกไปได้ดี และความรุนแรงลดลงเมื่อบรรยากาศไม่ทรงตัว (Unstable Atmosphere) ถ้าบรรยากาศบริเวณสันเขา มีการทรงตัว และบรรยากาศเหนือระดับสันเขาขึ้นไปมีการทรงตัวน้อยลง จะมีโอกาสเกิดคลื่นภูเขารุนแรงได้

3. สภาพอากาศที่เกิดจากคลื่นภูเขา

ในขณะเกิดคลื่นภูเขา เมื่อบรรยากาศมีความชื้นพอสมควร อาจปรากฏเมฆชนิดต่างๆ ต่อไปนี้

3.1 เมฆคลุมสันเขา (Cap Clouds หรือ Föhnwall)

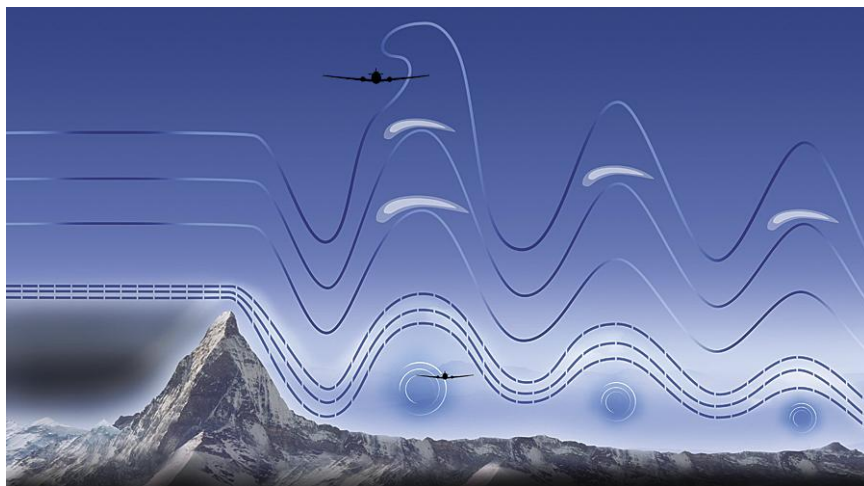
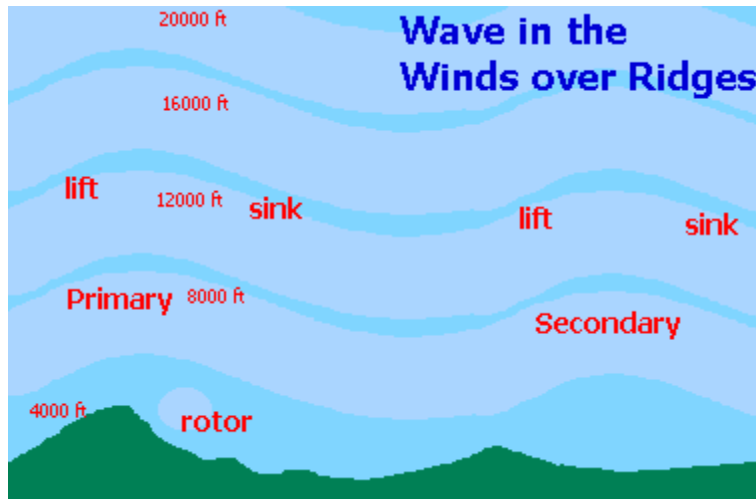
เป็นเมฆชั้นต่ำที่เกิดปกคลุมด้านรับลม และแผ่ขยายไปถึงด้านปลายลมของแนวเทือกเขา เกิดจากการกลั่นตัวของไอน้ำเมื่อกระแสอากาศไหลขึ้นด้านรับลมของแนวเทือกเขา ในกรณีที่อากาศทรงตัวดี เมฆที่เกิดขึ้นจะเป็นแผ่นยาวปกคลุมแนวเทือกเขา แต่ถ้าอากาศไม่ทรงตัว เมฆดังกล่าวจะเจริญเติบโตเป็นเมฆพายุฝนฟ้าคะนอง เมื่ออากาศเย็นเข้าใกล้เมฆคลุมสันเขา จะสังเกตเห็นกลุ่มเมฆบางส่วนย่อยลงมาด้านปลายลมมีขอบชัดเจน แสดงถึงบริเวณที่มีกระแสอากาศไหลลง (Downdraft) ซึ่งมีรายงานความเร็วสูงถึง 5,000 ฟุตต่อนาที จึงควรหลีกเลี่ยงบริเวณดังกล่าว ตามรูปที่ 1-13



รูปที่ 1-13 เมฆคลุมสันเขา (Cap Clouds or Föhn wall)

3.2 เมฆม้วน (Roll หรือ Rotor Clouds)

เมฆชนิดนี้รูปร่างคล้ายเมฆคิวมูลัส (Cumulus) วางตัวขนานกับแนวสันเขาเป็นแนวยาวและกระจายออกไปด้านหลังลม บางครั้งยอดของเมฆม้วนอาจสูงถึงระดับของเมฆรูปเลนส์ซึ่งอยู่ถัดขึ้นไป เป็นผลมาจากกระแสอากาศปั่นป่วนที่รุนแรงบริเวณใต้ฐานเมฆ จึงเป็นอันตรายต่อการบินมาก ตามรูปที่ 1-14

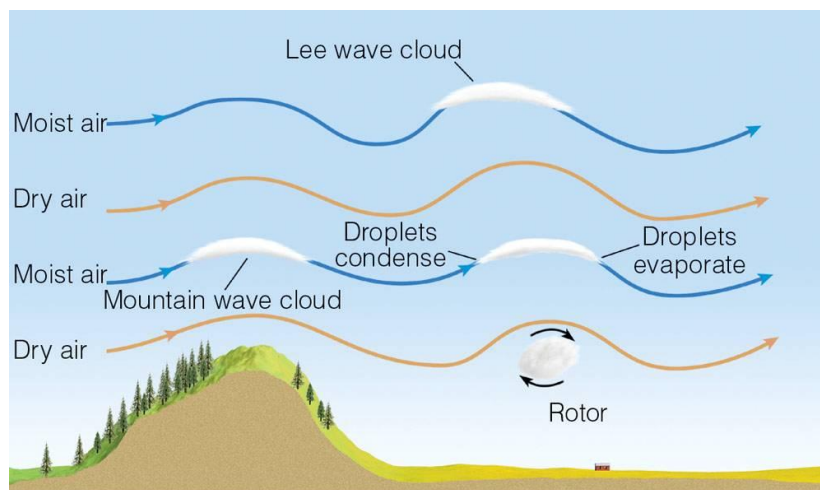
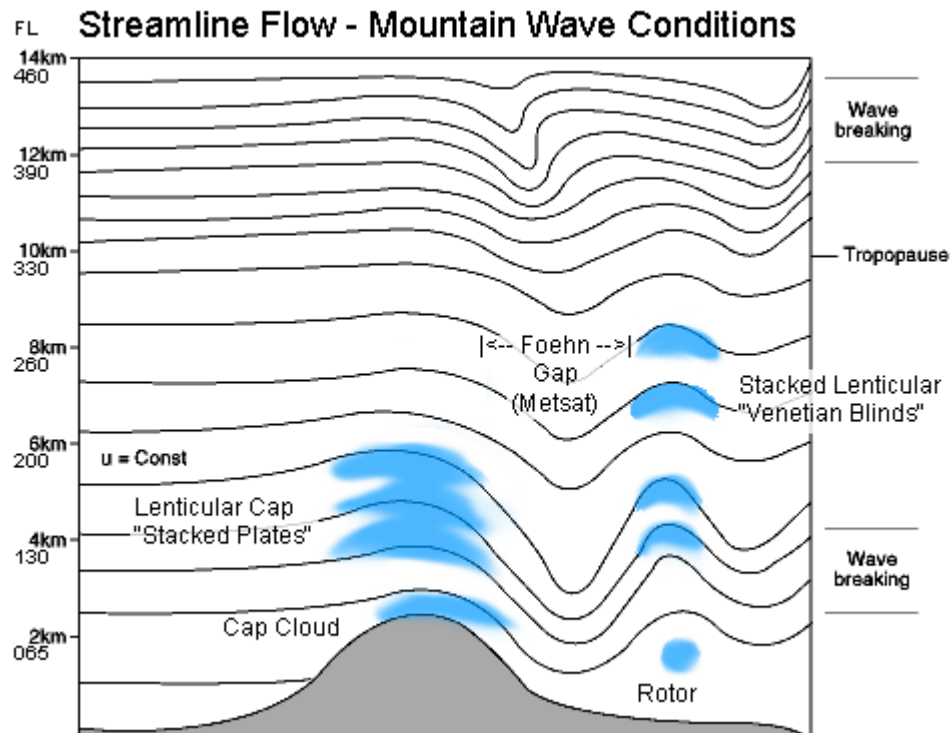


รูปที่ 1-14 เมฆม้วน (Roll หรือ Rotor Clouds)

บริเวณที่ปรากฏเมฆม้วนบ่งบอกถึงกระแสอากาศปั่นป่วนที่รุนแรงมาก พบว่ากระแสอากาศไหลขึ้นและไหลลงภายในก้อนเมฆมีความเร็วประมาณ 5,000 ฟุตต่อวินาที ส่วนใหญ่เมฆม้วนมักไม่เคลื่อนที่หรือเคลื่อนตัวช้ามาก แต่บางครั้งถ้ามีความชื้นไม่เพียงพออาจไม่ปรากฏเมฆม้วนให้เห็น

3.3 เมฆรูปเลนส์ (Standing Lenticular หรือ Lens-Shaped Clouds)

มักพบเมฆรูปเลนส์หรือเมฆจานบินเสมอขณะเกิดคลื่นภูเขา เป็นเมฆชั้นกลางพวกอัลโตคิวมูลัส (Alto cumulus) มีขอบชัดเจนตัดกับท้องฟ้ารูปร่างคล้ายๆ กับเลนส์ วางตัวเป็นแนวยาวเหนือแนวสันเขา และกระจายออกไปด้านหลังลม ส่วนใหญ่เกิดเหนือระดับ 20,000 ฟุต แต่บางครั้งสูงถึง 40,000 ฟุต ถ้าขอบเมฆไม่คมชัดมีการฉีกขาดเป็นริ้วซึ่งแสดงถึงกระแสอากาศปั่นป่วนชั้นรุนแรง ตามรูปที่ 1-15



รูปที่ 1-15 เมฆรูปเลนซ์ (Standing Lenticular หรือ Lens-Shaped Clouds)

ในเขตขั้วโลก (Polar Regions) เมฆรูปเลนซ์ อาจปรากฏให้เห็นในบรรยากาศชั้นสเตรโตสเฟียร์ (Stratosphere) ซึ่งมีชื่อเรียกว่า Mother-of-Pearl (Nacreous Clouds) มีความสูงถึง 80,000 ฟุต ส่วนใหญ่เมฆรูปเลนซ์มักไม่เคลื่อนที่ หรือเคลื่อนตัวช้ามากเช่นเดียวกับเมฆม้วน



Nacreous Clouds

4. ข้อควรระวังขณะทำการบินผ่านคลื่นภูเขา

4.1 กระแสอากาศที่ไหลลงจากแนวสันเขา

เป็นผลมาจากคลื่นโน้มถ่วง (Gravity Wave) พาลงมายังระดับต่ำ ถ้าบริเวณหลังลมอากาศมีการทรงตัวดี กระแสอากาศจะไหลกลับไปสู่ระดับความสูงเดิม พร้อมกับการนำความชื้นขึ้นไปสู่ระดับสูง ทำให้เกิดคลื่นหลังเขา (Lee Wave) ขยายตัวออกไปในทางระดับและสูงขึ้นไปในอากาศ ดังนั้นอากาศยานที่เข้าใกล้บริเวณเมฆม้วน หรือ เมฆรูปเลนซ์ จึงเสมือนเผชิญกับคลื่นหลังเขานั้นเอง

4.2 เมื่อจำเป็นต้องทำการบินผ่านบริเวณที่เกิดเมฆม้วน หรือเมฆรูปเลนซ์ ควรเพิ่มความเร็วและเข้าสู่บริเวณกระแสอากาศไหลขึ้น (Updraft) เพื่อเพิ่มค่า Altitude ของอากาศยาน

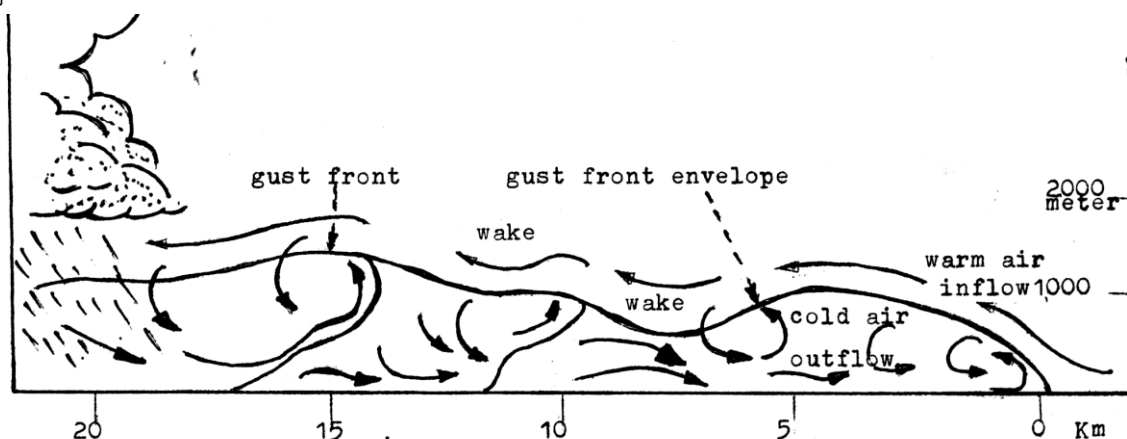
4.3 ควรระลึกเสมอว่าค่า Altimeter ของอากาศยานสามารถอ่านค่าผิดพลาดได้เมื่อเผชิญกับคลื่นภูเขา เคยปรากฏว่าค่า Altimeter มีค่าผิดพลาดสูงถึง 1,000 ฟุต ขณะอากาศยานบินเข้าสู่คลื่นภูเขาที่มีความรุนแรง

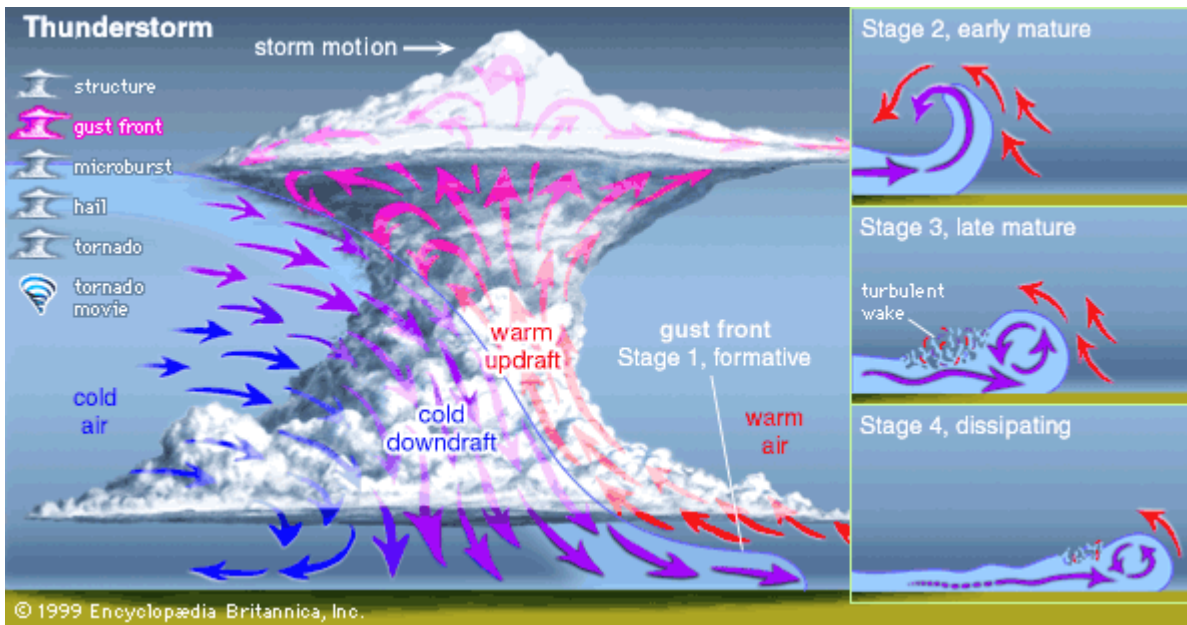
4.4 การปฏิบัติที่ดีที่สุด คือหลีกเลี่ยงการทำการบินผ่านบริเวณที่เกิดคลื่นภูเขา แต่ถ้าจำเป็นต้องบินผ่าน ควรใช้ความสูงมากกว่าความสูงของแนวสันเขา อย่างน้อย 50 เปอร์เซ็นต์

ตัวอย่างเช่น แนวสันเขามีความสูง 1,000 ฟุต อากาศยานต้องบินผ่านด้วยความสูงอย่างน้อย 500 ฟุต จากแนวสันเขา เป็นต้น

Microburst

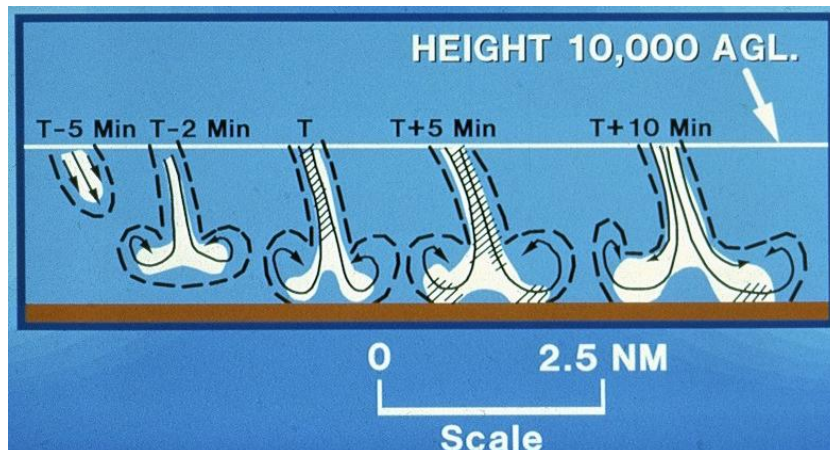
กว่าทศวรรษมาแล้วที่เชื่อกันว่าอุบัติเหตุเครื่องบินตก มีเหตุมาจากเครื่องบินปะทะกับกระแสอากาศปั่นป่วนของ Gust front Gust front เป็นกระแสอากาศเย็นไหลลงจากพายุฟ้าคะนอง มีความเย็นและหนาแน่น แล่อกโดยรอบเป็นบริเวณกว้างที่ผิวพื้น ก่อให้เกิดลมกระโชกรุนแรง อุณหภูมิลดลงทันที และความกดอากาศเพิ่มขึ้นรวดเร็วเป็นบริเวณกว้าง บางครั้งกระแสอากาศนี้แผ่ไปได้ไกล 60 กิโลเมตร ทางด้านหน้าทิศทางการเคลื่อนที่ของเซลล์พายุฟ้าคะนอง ที่ขอบหน้าของ Gust front กระแสอากาศเย็นและมีทิศไหลลงปะทะกับกระแสอากาศอุ่นซึ่งมีทิศไหลขึ้นเข้าไปในพายุฟ้าคะนอง กระแสอากาศไหลขึ้นและไหลลงเกิดขึ้นในระยะใกล้กัน ก่อให้เกิดลมพัดตัดกันรุนแรงและอากาศปั่นป่วนโดยรอบ ซึ่งสามารถก่ออันตรายต่อเครื่องบินที่เข้าไปประสบเหตุการณ์นี้ อย่างไรก็ตามจากการตรวจสอบสาเหตุของเครื่องบิน ซึ่งประสบอุบัติเหตุในอเมริกาปรากฏหลักฐานว่าส่วนใหญ่สาเหตุของเครื่องบินตกเกิดจากเครื่องบินประสบกับกระแสอากาศไหลลงรุนแรง ซึ่งเกิดขึ้นทันทีทันใดในบริเวณพายุฝนฟ้าคะนองมากกว่าที่จะเกิดขึ้นเนื่องจาก Gust front ซึ่งเกิดนำทางด้านหน้าของพายุฝนฟ้าคะนอง ตามรูปที่ 1-16





รูปที่ 1-16 Distance from Gust Front

ในปี ค.ศ.1976 Fujita ได้ทำการค้นหาสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุของเครื่องบินที่สนามบินเคนเนดี รัฐนิวยอร์ก ซึ่งเป็นครั้งแรกที่ได้ลงความเห็นว่าเป็นผลมาจากลักษณะอากาศชนิดหนึ่งเรียกว่า Downburst ต่อมาได้กลายเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดอากาศยานอุบัติเหตุหลายครั้ง และมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเกิดสภาพอากาศรุนแรง Downburst เป็นกระแสอากาศที่ไหลทะลักลงมารุนแรง



รูปที่ 1-17 Microburst

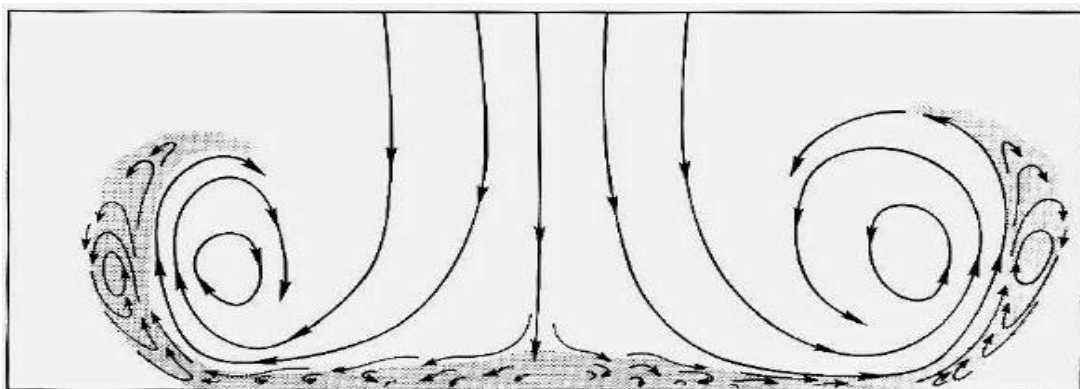
Microburst คือ Downburst ที่เกิดขึ้นอย่างรุนแรงในพื้นที่ขนาดระหว่าง 0.2 - 2.4 NM (รูปที่ 1-17) สามารถทำความเสียหายแก่ทรัพย์สินที่อยู่เหนือพื้นดินได้เช่นเดียวกันกับความเสียหายที่เกิดจากทอร์นาโด เพราะ Microburst มีความรุนแรงเท่ากับ F3 ของ Fujita scale หรือเท่ากับทอร์นาโดที่มีความเร็วลม 150 ไมล์ต่อชั่วโมง Microburst มักจะเกิดเมื่อมีความเร็วลมเปลี่ยนแปลง 50 นอต หรือมากกว่า และเกิดร่วมกับการเกิด Downburst ความเสียหายเกิดจากกระแสลมทะลักลงมาและให้เกิด wind shear คล้ายกับการหมุนของทอร์นาโด เกิดบริเวณรอบขอบที่สำคัญคือการสอบตัวบริเวณแนวหน้าของ Microburst และ Downburst ขณะที่อากาศยานบินขึ้นสู่ท้องฟ้าหรือกำลังร่อนลงสู่สนามบิน กระแสลมที่เกิดจาก Microburst ทำให้ค่า Headwind component และแรงยกตัวของอากาศยานลดลง เป็นเหตุให้เครื่องยนต์เกิดการ stall และนำไปสู่การเกิดอุบัติเหตุในที่สุด Wilson ได้

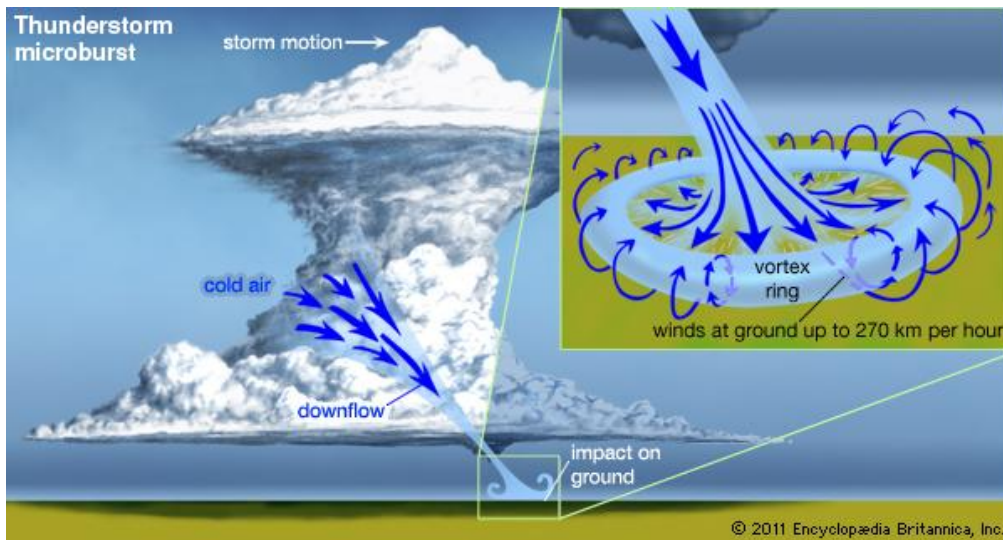
นำเสนอการใช้ Doppler radar เพื่อตรวจวัด โดยได้เสนอแบบจำลอง และได้แนะนำให้สนามบินต่างๆ ติดตั้ง Doppler radar เพื่อที่จะได้ตรวจหา Microburst และประกาศเตือนภัยแก่นักบิน อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบพายุฟ้าคะนองที่เกิดในเขตร้อนกับที่เกิดในสหรัฐพบว่าพายุฟ้าคะนองที่เกิดในเขตร้อนมีโอกาสที่จะทำให้เกิด Severe Microburst น้อยกว่า

ในปัจจุบันเรดาร์ตรวจอากาศชนิด Doppler สามารถบอกถึงการเกิดพร้อมทั้งตำแหน่งของ Microburst และ Downburst ได้ ดังนั้นเรดาร์ชนิดนี้จึงช่วยให้เครื่องบินสามารถบินได้อย่างปลอดภัยมากขึ้น

รูปแบบซึ่งอธิบายโครงสร้างของ Microburst กำหนดจากกระแสอากาศไหลลงอย่างต่อเนื่องปะทะกับพื้นราบ ซึ่งอาจมีความฝืดหรือไม่มีความฝืด กระแสอากาศไหลลงเมื่อปะทะกับผิวพื้น จะทำให้ความเร็วในแนวตั้งของกระแสอากาศนั้นลดลง และเพิ่มความเร็วตามแนวนอนเกิดกระแสอากาศไหลออก (outward flow) โดยรอบศูนย์กลางของบริเวณที่กระแสอากาศนั้นปะทะผิวพื้น

บริเวณที่กระแสอากาศไหลลงจะมีความกดอากาศสูงกว่ารอบๆ ในกรณีที่กระแสอากาศไหลลงมีความเร็วประมาณ 40 นอต คาดว่าจะทำให้ความกดอากาศสูงกว่าปกติประมาณ 2 hPa ในบริเวณรัศมี 1 กิโลเมตร อย่างไรก็ตามรูปแบบโครงสร้างนี้ไม่สามารถอธิบายถึงสิ่งที่ตรวจพบในขณะเกิด Microburst กล่าวคือ ตรวจพบบริเวณที่มีความกดอากาศสูงกว่าที่คาดการณ์ เช่นตรวจพบบริเวณที่มีความกดอากาศสูงกว่ารอบข้างมีค่า 2.4 hPa คงอยู่นาน 3 นาที ในปี 1975 ตรวจพบบริเวณความกดอากาศสูงกว่ารอบข้าง 5 hPa ในปี 1984 ข้อมูลที่ได้แสดงว่าบริเวณดังกล่าวมักมีพื้นที่ไม่เกิน 8 ตารางกิโลเมตร เกิดในขณะพายุฝนฟ้าคะนองเจริญเติบโตเต็มที่ ในช่วงที่เริ่มปรากฏฝนตกและคงอยู่ไม่กี่นาที และได้เรียกบริเวณดังกล่าวว่า Pressure nose ในขณะเกิด Microburst Pressure nose มีค่าความกดอากาศสูงกว่าปกติมาก นอกจากนี้จากการนำเครื่องมือซึ่งมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นมาทำการตรวจวัด Microburst ยังปรากฏบริเวณที่มีความกดอากาศลดลงต่ำกว่าปกติ ซึ่งรูปแบบโครงสร้างที่กำหนดขึ้นครั้งแรกไม่สามารถอธิบายถึงสิ่งที่เกิดขึ้นได้ ในปี 1983 Fujita ได้เสนอรูปแบบโครงสร้างของ Microburst ขึ้นใหม่ กล่าวคือ Microburst จะประกอบด้วยบริเวณของ Pressure nose ซึ่งมีความกดอากาศสูงล้อมรอบด้วยวงแหวนของบริเวณที่มีความกดอากาศต่ำ นอกจากนี้รูปแบบโครงสร้างซึ่งอธิบายถึงการเกิดวงแหวนของความกดอากาศต่ำในบริเวณขอบของกระแสอากาศไหลลง โดยยังคงสามารถแสดงถึงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของกระแสอากาศไหลลงได้ น่าจะมีลักษณะเป็น vortex ring ล้อมรอบกระแสอากาศไหลลงนั้น





รูปที่ 1-18 Microburst With A Vortex Ring

รูปที่ 1-18 แสดงลักษณะของ Microburst ซึ่งมี vortex ring ล้อมรอบ กระแสอากาศซึ่งหมุนเวียนใน vortex ring จะปรากฏเป็นกระแสอากาศไหลลงที่ศูนย์กลางของ vortex ring และเป็นกระแสอากาศไหลขึ้นรอบขอบเส้นรอบวงบริเวณกระแสอากาศไหลลงจากพายุฝนฟ้าคะนอง

ข้อมูลจากการตรวจอากาศและภาพถ่ายจำนวนมากของผงฝุ่น และกลุ่มฝนที่ม้วนตัวขึ้นรอบขอบของกระแสอากาศไหลลงในขณะเกิด Microburst เป็นหลักฐานยืนยันถึงความถูกต้องของรูปแบบโครงสร้างนี้ได้เป็นอย่างดี ขนาดและความรุนแรงของ Microburst สัมพันธ์กับขนาดและชนิดของหยาดน้ำฟ้าในช่วงที่พายุฝนฟ้าคะนองนั้นเจริญเติบโตเต็มที่ นอกจากนั้นโอกาสในการเกิด Microburst ยังสัมพันธ์กับสิ่งต่อไปนี้

ก. การปรากฏกลุ่มฝนหรือ virga ซึ่งมีความหนาแน่นมากในบริเวณ 1 กิโลเมตร กระแสอากาศไหลลงรุนแรงและปรากฏขอบเขตที่ชัดเจนมาก

ข. อัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานของกระแสอากาศตามแนวนอน ก่อให้เกิดการบิดตัวของอากาศ รอบบริเวณกระแสอากาศไหลลง

ค. ในบริเวณที่มีกระแสอากาศไหลลงกระทบผิวพื้น ผิวพื้นและความฝืดของผิวนั้นนั้นทำให้อากาศที่บิดตัวก่อตัวเป็นวงแหวน

ง. เกิดการสวี่ขึ้นของอากาศเนื่องจากการขยายตัวของกระแสอากาศไหลออก ตามแนวนอนที่ฐานของกระแสอากาศไหลลงนั้น



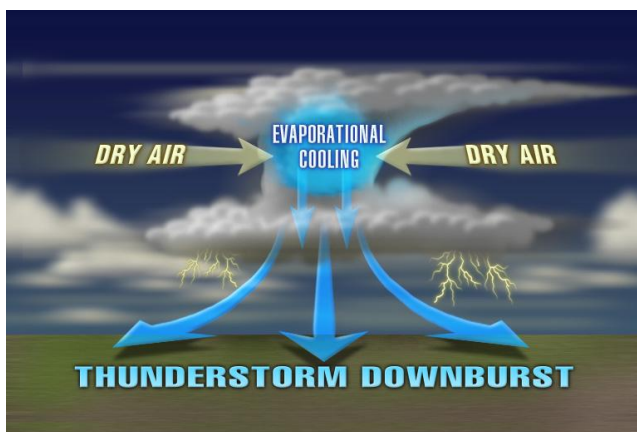
Microburst แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่

1. Wet Microburst พบบริเวณที่มีความชื้นสูง เมื่ออากาศมีการยกตัวในทางตั้งจากชั้นของอากาศชั้นที่ระดับผิวพื้น และก่อตัวผ่านระดับของอากาศแห่งที่อยู่เบื้องบน กระแสลมที่ความสูงระดับกลาง (Mid-level winds) พัดพาน้ำฝนและความชื้นเข้าสู่อากาศทำให้เกิดการอึดตัวของอากาศ ผลจาก Evaporational cooling ทำให้พื้นที่Negatively buoyant นำไปสู่การเกิด Microburst น้ำฟ้าที่ถูกกดลงมาเป็นตัวเร่งทำให้เกิดการจมตัวของอากาศมากขึ้น

Microburst ซึ่งเกิดจากพายุฝนฟ้าคะนองซึ่งมีฐานเมฆสูงและมีฝนตกหนัก สามารถก่ออันตรายได้เป็นอย่างมาก และรุนแรง เนื่องจากเซลล์พายุประกอบด้วยมวลอากาศปริมาณมากผสมอยู่ และมีความชื้นสูงหลายระดับ โดยมีค่าอัตราการเปลี่ยนอุณหภูมิต่อความสูงมาก และฝนที่ตกหนักก่อให้เกิดน้ำปริมาณมาก ซึ่งกลายเป็นแหล่งพลังงานของกระแสอากาศไหลลงให้มีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น



2. Dry Microburst พบในบริเวณที่อากาศแห้ง เมฆจะมีการก่อตัวที่ระดับสูงเหนือชั้นอากาศแห้งที่ผิวพื้น น้ำฟ้าที่เกิดจากเมฆซึ่งมีฐานสูง ตกผ่านลงสู่ชั้นของอากาศแห้งและเกิดการระเหย การระเหยจำเป็นต้องใช้ความร้อนแฝงทำให้อากาศชั้นที่จมตัวลงมาเกิด Evaporational cooling อากาศที่เย็นกว่าเคลื่อนที่แบบ Negatively buoyant และเป็นตัวเร่งให้เกิดการจมตัว トラバタイที่มีน้ำฟ้าและเกิด Evaporational cooling การจมตัวลงจะเป็นแบบ Saturated adiabat เมื่อน้ำฟ้าระเหยตัวหมดแล้ว อากาศจะจมตัวต่อไปแบบ Dry adiabat เนื่องจากผลของ momentum จนกระทั่งอากาศมีอุณหภูมิไม่น้อยกว่าบริเวณใกล้เคียง



3. Hybrid Microburst พบในสถานะของบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงจากอากาศแห้งเป็นอากาศชื้น หรืออากาศชื้นเป็นอากาศแห้ง ในสถานะที่บรรยากาศสำหรับการเกิด Wet Microburst เปลี่ยนเป็น Dry Microburst ความหนาของชั้นอากาศ (ที่มีอัตราอุณหภูมิแบบ Dry adiabat lapse rate) อยู่ถัดลงมาจากฐานเมฆหนาเพิ่มมากขึ้น หรือฐานเมฆยกตัวสูงขึ้น และระดับของอากาศชั้นที่อยู่

ระดับกลาง (Mid-level moist layer) ได้สลายไป ผลจากการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ทำให้การระเหยตัวที่เกิดบริเวณใต้ฐานเมฆลดน้อยลง และเมื่อสถานะอากาศสำหรับการเกิด Dry Microburst เปลี่ยนเป็น Wet Microburst จะทำให้มีฝนตกถึงพื้นดินมากขึ้น ลักษณะอากาศบริเวณที่เกิด Hybrid อาจจะมีหิมะผสมลูกเห็บ หรือลูกเห็บเกิดร่วมกับลมแรง

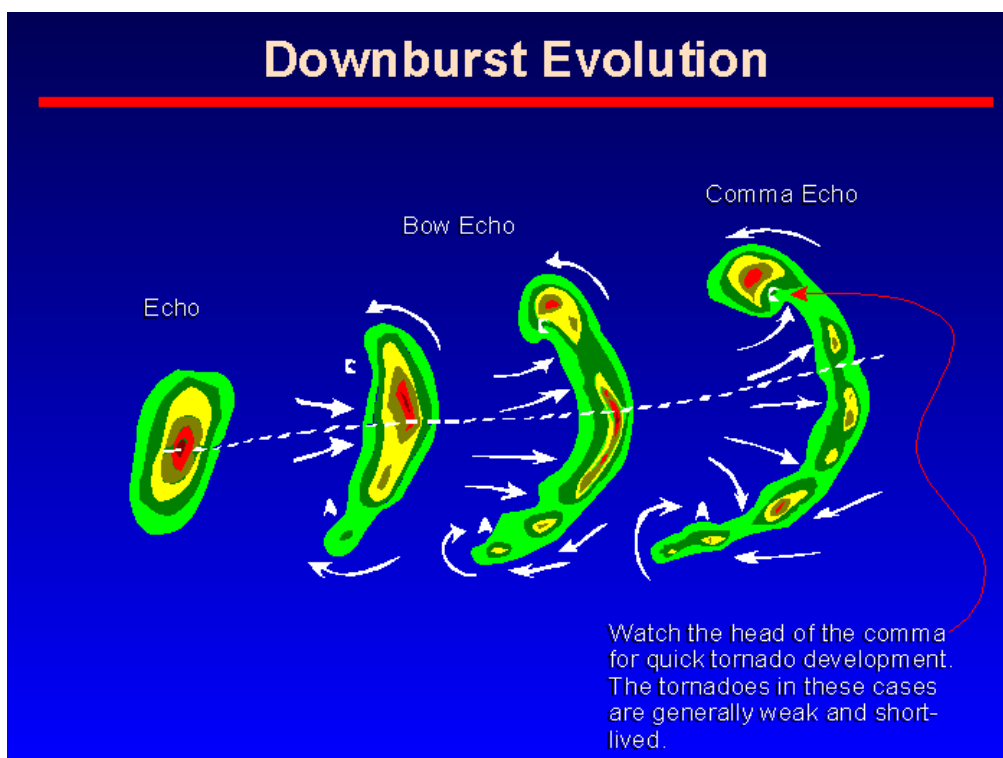
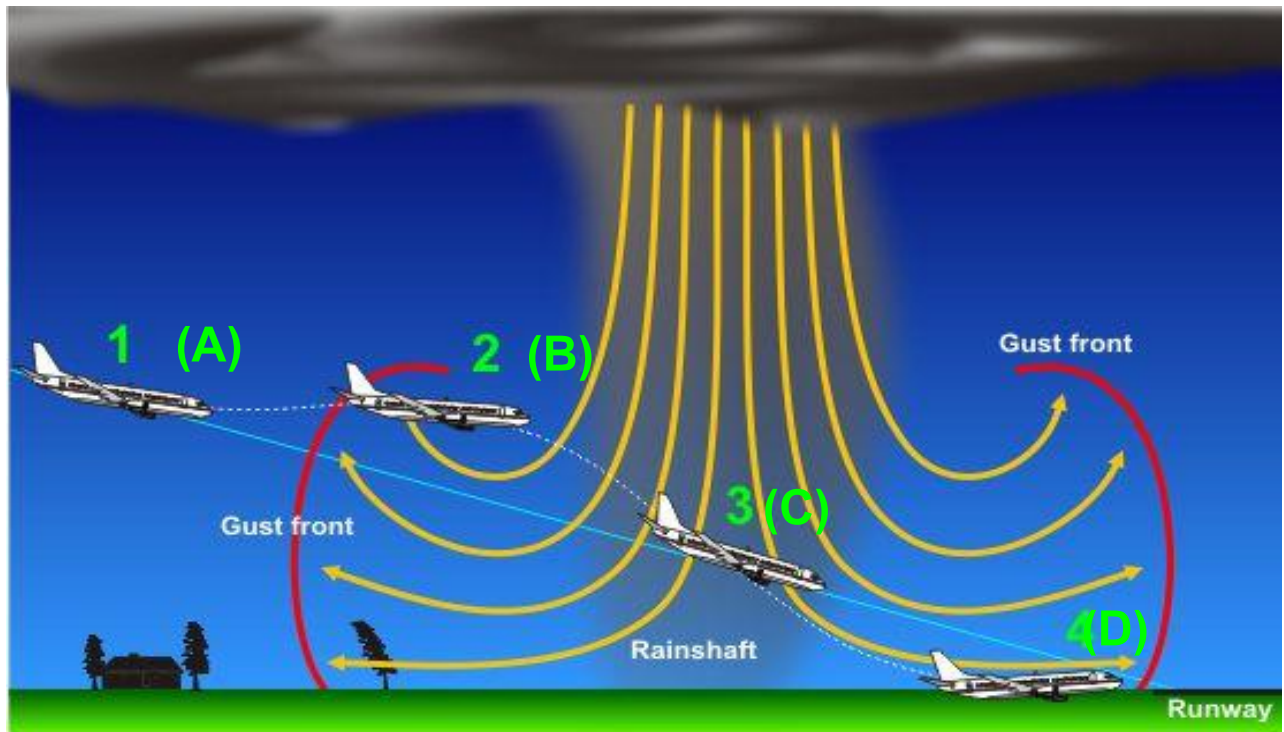
อันตรายจาก Microburst ที่มีผลต่ออากาศยาน

Microburst มีอันตรายต่ออากาศยานอย่างมากในขณะที่อยู่ใกล้พื้นดิน โดยเฉพาะขณะทำการวิ่งขึ้นหรือร่อนลง เนื่องจากในช่วงเวลานั้นถ้ามีแรงภายนอกกระทำต่ออากาศยานจะเพิ่มค่า Stall speed และ Stall angle ทำให้สูญเสียการควบคุมและตกกระแทกพื้นดินได้

ต่อไปนี้จะมาพิจารณาอากาศยานขณะทำการร่อนลง จากรูปที่ 1-17 ตำแหน่ง A ก่อนเผชิญกับกระแสอากาศไหลลง (Downdraft) ค่า Air speed และ Ground speed มีความสมดุลกัน ตำแหน่ง B อากาศยานเผชิญกับ Headwind ความเร็วสูง ซึ่งเป็นผลมาจากกระแสอากาศไหลลงจากพายุฝนฟ้าคะนอง มีผลทำให้ Air speed เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว อากาศยานมีระยะสูงเพิ่มขึ้น ดังนั้นนักบินจึงต้องลดความเร็ว ค่า Ground speed เริ่มลดลง

ตำแหน่ง C Headwind เริ่มเปลี่ยนเป็น Tailwind อย่างรวดเร็วและรุนแรง เนื่องจากถูกระแสอากาศไหลลงกดดัน ตำแหน่ง D อากาศยานสูญเสียระยะสูงอย่างรวดเร็ว Air speed ลดลง ถ้านักบินแก้ไขไม่ทันเวลา หรือแก้ไขได้ทันเวลา แต่เครื่องยนต์ไม่สามารถตอบสนองได้อย่างรวดเร็ว มีผลทำให้สูญเสียระยะสูง อากาศยานตกกระแทกพื้นดินในที่สุด

เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจากตำแหน่ง A ถึง D รวดเร็วมาก และอยู่ในช่วงระยะทางสั้นๆ (4-5 กิโลเมตร) กระแสอากาศไหลลงที่เกิดขึ้นในกรณีเช่นนี้จึงถูกเรียกว่า Microburst



ลมพัดตัดกันในระดับต่ำ (Low Level Wind Shear)

1. กล่าวทั่วไป

ลมพัดตัดกัน (Wind shear) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงความเร็ว และ/หรือ ทิศทางอย่างทันทีทันใด ในช่วงเวลาสั้นๆ ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งทางแนวตั้งและทางระดับ

แม้ว่าลมพัดตัดกันจะสามารถเกิดขึ้นได้ทุกระดับความสูง แต่จะมีอันตรายอย่างยิ่งเมื่อเกิดในระดับความสูงไม่เกิน 2,000 ฟุตเหนือพื้นดินในระหว่างการบินขึ้นและร่อนลง เนื่องจากอากาศยานทำการบินด้วยความเร็วเหนืออัตราเร่งเล็กน้อย และการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันของทิศทางและความเร็วลมมีผลทำให้อากาศยานสูญเสียแรงยกได้ ถ้าการสูญเสียแรงยกดังกล่าวมีมากจนกระทั่งกำลังเครื่องยนต์ไม่เพียงพอ อากาศยานจะสูญเสียระยะสูงและตกลงสู่พื้นดิน ซึ่งในระยะสูงดังกล่าวนี้ นักบินจะต้องทำการแก้ไขอย่างถูกต้องและรวดเร็ว เพื่อป้องกันอุบัติเหตุซึ่งจะเกิดขึ้นจากสาเหตุดังกล่าว

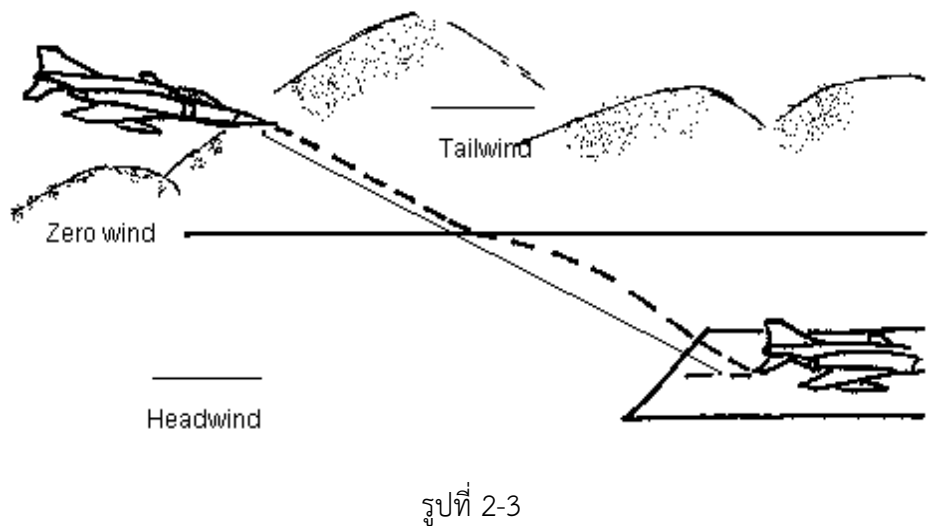
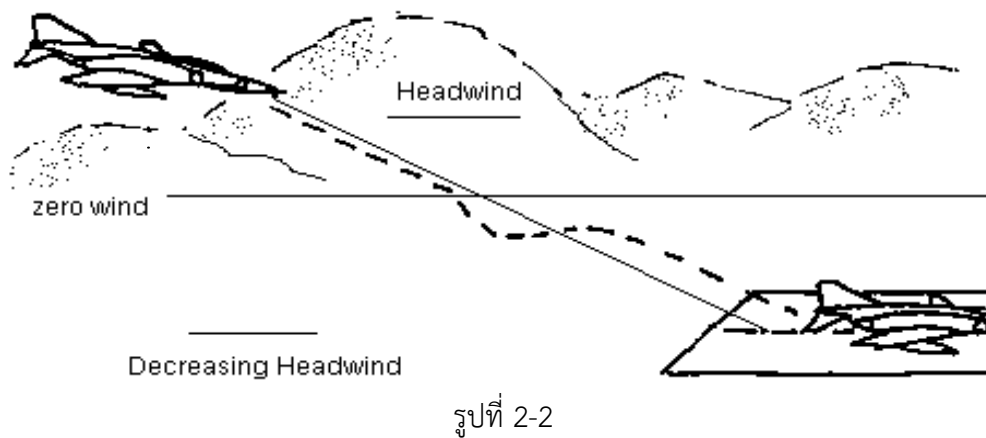
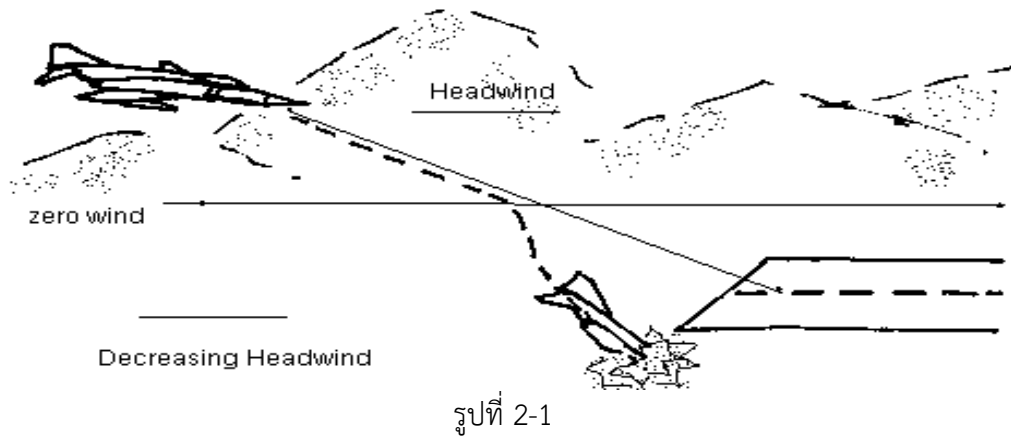
ลมพัดตัดกันในระดับต่ำจะมีความสำคัญและมีผลต่อการปฏิบัติการทางอากาศนั้น จะต้องขึ้นอยู่กับลักษณะการเกิดและช่วงเวลาของการเกิดว่าเป็นอย่างไร ดังตัวอย่าง เมื่ออากาศยานทำการบินพบกับกระแสลมต้าน (Headwind) มีความเร็วลม 30 นอต เมื่อใช้เวลาทำการบินประมาณ 1 ชั่วโมง จะพบกับการเปลี่ยนแปลงของระบบลมเป็นลมส่งท้าย (Tailwind) ความเร็ว 30 นอต ลักษณะดังกล่าวจะเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ ซึ่งจะไม่มี ความสำคัญมากนักต่างจากการเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด ซึ่งนักบินจะต้องทำการแก้ไขอย่างถูกต้อง และรวดเร็ว เพื่อควบคุมอากาศยานให้ทำการบินได้อย่างปลอดภัย

2. Performance decreasing shear

เมื่ออากาศยานทำการบินไปยังบริเวณที่ความเร็วของกระแสลมต้านลดลงในช่วงเวลาสั้นๆ ความเร็วสัมพัทธ์ของอากาศเหนือบริเวณปีกของอากาศยานจะลดลง และความเร็วขณะบินที่อ่านได้จากหน้าปัด (Indicated airspeed) จะลดลงเป็นผลทำให้แรงยกลดลงเช่นกัน มุมเงยของอากาศยานมีแนวโน้มลดลง เมื่อสถานการณ์ที่กระแสลมต้านลดลงนี้เกิดขึ้นจะเรียกว่า Performance decreasing

สถานการณ์ Performance decreasing shear นั้น จะเป็นอันตรายขณะที่อากาศยานวิ่งขึ้นและร่อนลงสู่สนามบินซึ่งอยู่ในช่วงที่สูญเสียแรงยก อากาศยานจะทำการบินด้วยความเร็วต่ำและอยู่ในระดับความสูงไม่มากนัก ในขณะที่มีแรงยกเพิ่มขึ้น จะเป็นผลทำให้ความเร็วของอากาศยานลดลง และเกิดอุบัติเหตุได้ ดังรูปที่ 2-1

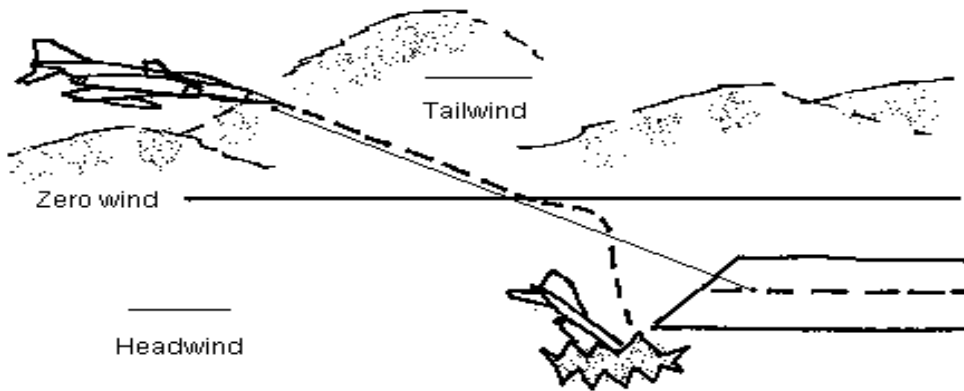
เมื่อประสบกับลมพัดตัดกัน อากาศยานจะมีความเร็วลดลงและสูญเสียระยะสูง นักบินจะต้องเตรียมพร้อมที่จะเพิ่มกำลังเครื่องยนต์ เมื่อสังเกตเห็นหน้าปัดแสดงความเร็วของเครื่องเริ่มจะลดลง เมื่อความเร็วและแนวร่อนกลับคืนสู่สภาพปกติแล้ว การลดแรงผลัก (Thrust) อย่างเหมาะสมก็มีความจำเป็นในการทำการบินในสถานการณ์ดังกล่าว หากไม่ลดกำลังเครื่องยนต์ลงจะเป็นผลทำให้อากาศยานลงสู่สนามบินด้วยความเร็วสูงและใช้ทางวิ่งยาวขึ้น ดังรูปที่ 2-2



3. Performance increasing shear

เมื่ออากาศยานทำการบินจากบริเวณที่มีกระแสลมส่งท้าย ไปยังบริเวณที่มีกระแสลมต้านในช่วงเวลาสั้นๆ ความเร็วสัมพัทธ์ของอากาศเหนือบริเวณปีกจะเพิ่มขึ้น, ความเร็วขณะบินที่อ่านได้จากหน้าปัดจะเพิ่มขึ้น, แรงยกเพิ่มขึ้น มุมเงยของอากาศยานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ลมพัดตัดกันที่เกิดขึ้นในลักษณะเช่นนี้เรียกว่า Performance increasing อันตรายที่เกิดขึ้นในลักษณะดังกล่าวจะทำให้อากาศยานใช้ทางวิ่งยาวกว่าปกติ ดังรูปที่ 2-3

ประกอบกับเมื่อขณะทำการร่อนลง จะประสบกับความเร็วของอากาศยานเพิ่มขึ้นอย่างทันทีทันใด ซึ่งนักบินจะต้องทำการแก้ไขโดยลดกำลังของเครื่องยนต์และมุมเงยของอากาศยานลง เพื่อรักษาแนวร่อนให้อยู่ในสภาพปกติ แรงผลักรถที่ลดลงเป็นผลมาจากการลดกำลังของเครื่องยนต์ และความเร็วของกระแสลมต้าน ซึ่งผลที่เกิดขึ้นดังกล่าวถ้านักบินแก้ไขสถานการณ์ไม่ถูกต้องและทันเวลา ก็จะทำให้อากาศยานนั้นประสบอุบัติเหตุได้ ดังรูปที่ 2-4

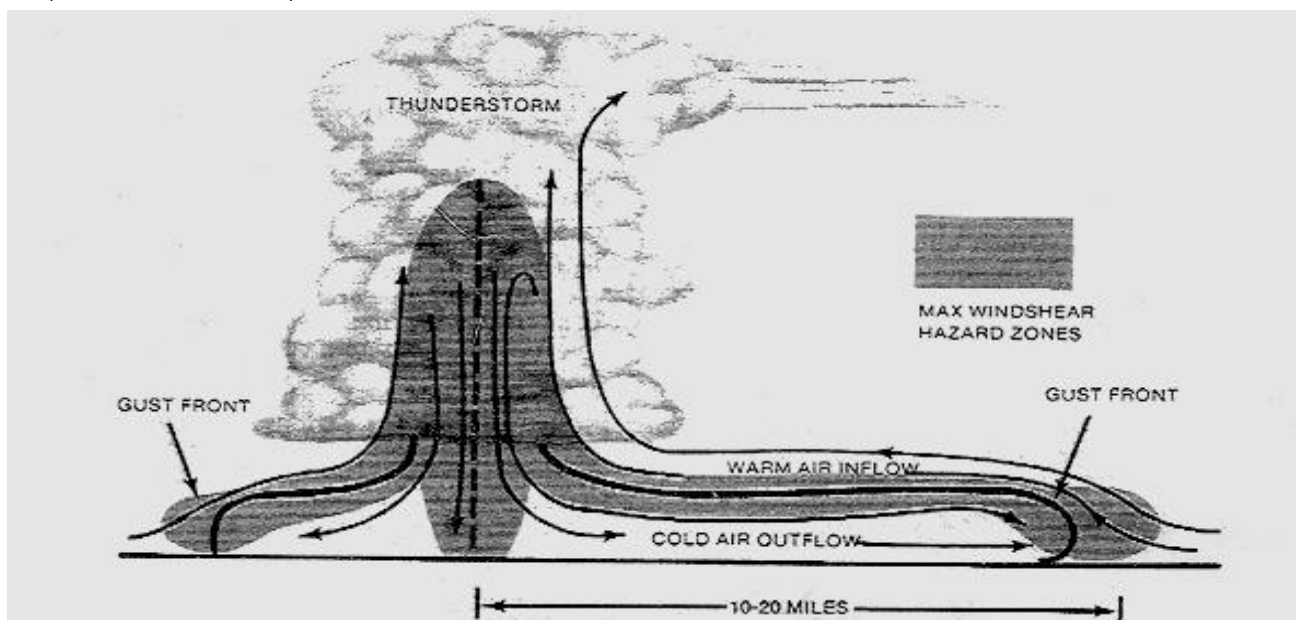


รูปที่ 2-4

4. สภาพอากาศที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดลมพัดตัดกันในระดับต่ำ

มีปรากฏการณ์ของสภาพอากาศหลายชนิดที่สามารถทำให้เกิดลมพัดตัดกันในระดับต่ำได้ เช่น พายุฟ้าคะนอง, Microburst, แนวปะทะอากาศ, กระแสลมเจ็ตในระดับต่ำซึ่งเกิดเหนือชั้นอุณหภูมิกลับอันเนื่องมาจากการแผ่รังสี (Low level jets at the top of radiation inversion), ลมช่องเขา (Funneling wind) และคลื่นภูเขา

4.1 พายุฟ้าคะนอง (Thunderstorm) ลมบริเวณภายในและรอบๆ พายุฟ้าคะนองนั้นมีทิศทางแตกต่างกัน ดังรูปที่ 2-5 โดยมีกระแสลมเย็นไหลลงพัดออกมาจากฐานของเมฆพายุฟ้าคะนอง โดยแผ่ไปทุกทิศทางก่อนที่จะเข้ามาใกล้พื้นผิวโลก และมีบริเวณของลมกระโชกอยู่ใกล้ๆ กับพายุฟ้าคะนอง แนวที่แบ่งระหว่างอากาศเย็นจากพายุฟ้าคะนองกับอากาศอุ่นเดิมที่ผิวพื้น เรียกว่า Gust front

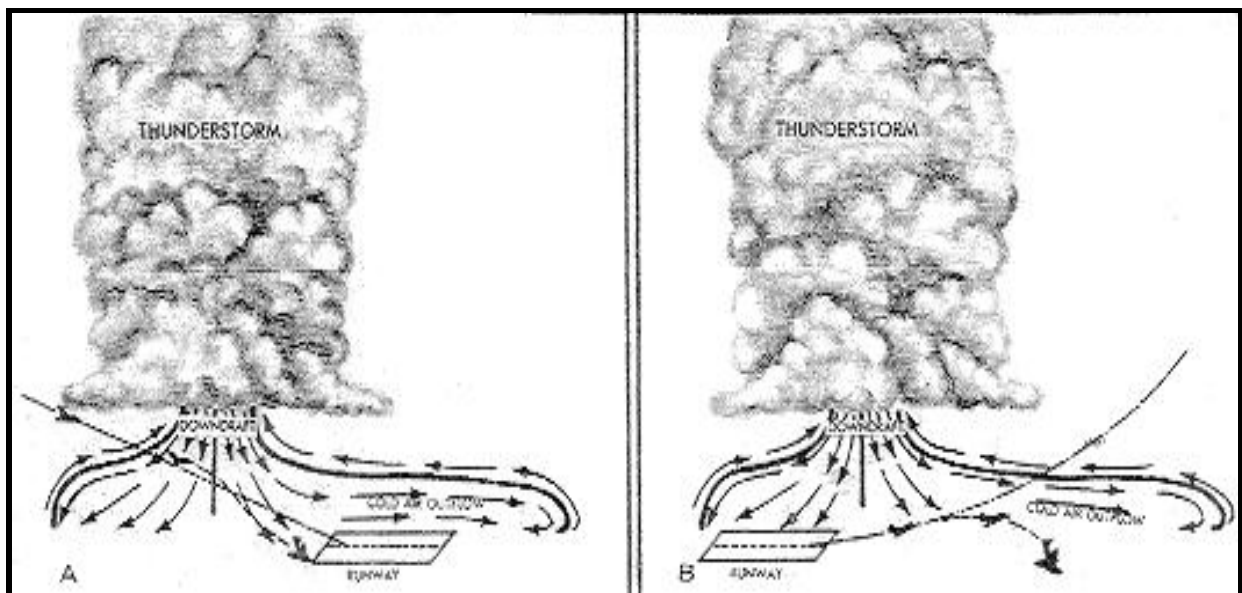


รูปที่ 2-5

Gust front มักพบได้บ่อยๆ ที่สามารถแผ่ออกไปได้ไกลถึง 10-20 ไมล์ จากบริเวณที่เกิดพายุฟ้าคะนอง เคยตรวจพบลมพัดตัดกันวัดได้ในทันทีที่ Gust front เคลื่อนตัวผ่าน มีค่า 10 นอตต่อระยะสูง 100 ฟุต ในทางตั้ง ในขณะที่ลมพัดตัดกันในทางระดับมีค่า 40 นอตต่อระยะทาง 1 ไมล์ ในกรณีที่เกิดลมพัดตัดกันที่มีความรุนแรงมาก ส่วนใหญ่จะเกิดร่วมกันกับพายุฟ้าคะนองชั้นรุนแรง ซึ่งจะเกิดลมพัดตัดกันของทิศทางลม (Directional shears) จะมีค่าตั้งแต่ 90-180 องศา โดยกระแสอากาศไหลลง (Downdraft) ของพายุฟ้าคะนองจะก่อให้เกิดลมพัดตัดกันที่มีอันตรายมาก ซึ่งจะเกิดร่วมกันกับกระแสอากาศไหลออกของพายุฟ้าคะนอง ดังตัวอย่าง ดังรูปที่ 2-6

ขณะที่อากาศยานกำลังบินเข้าสู่บริเวณที่มี Gust front และกระแสอากาศไหลลงนั้นจะพบทั้งการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของลมในแนวนอน รวมถึงการเคลื่อนที่ลงในทางตั้งอีกด้วย ซึ่งสามารถทำให้อากาศยานเสียระยะสูงในขณะร่อนลงหรือไต่ระดับได้ประมาณ 2,000 ฟุตต่อนาทีหรือมากกว่า ดังรูปที่ 2-7 ขณะที่อากาศยานกำลังจะวิ่งขึ้น จะประสบกับทั้งกระแสอากาศไหลลงและลมส่งท้าย จะทำให้เกิดการสูญเสียแรงยก หากอากาศยานอยู่ใกล้ๆ กับพื้นดิน จะมีโอกาสประสบอุบัติเหตุได้

ลมพัดตัดกันที่เกิดร่วมกับพายุฟ้าคะนองนั้น เป็นสภาพอากาศที่มีอันตรายมาก เนื่องจากมีความซับซ้อนและหลากหลายของทิศทางและความเร็วลม ซึ่งในระดับความสูงต่างๆ ลักษณะของลมโดยทั่วไปจะพัดขึ้นเหนือบริเวณที่เป็น Gust front เข้าไปยังบริเวณที่เป็นพายุฟ้าคะนอง Gust front เกิดได้มากกว่า 1 ครั้ง ซึ่งเป็นผลมาจากกระแสอากาศไหลลงหลายระลอก กระแสอากาศที่ไหลลงจากบริเวณศูนย์กลางของเมฆพายุฟ้าคะนองจะมีความรุนแรงมากที่สุด เมื่ออากาศยานจะทำการบินไปยังบริเวณที่มีลักษณะอากาศดังกล่าว จะต้องพิจารณาหาหนทางเพื่อหลบหลีกสภาพอากาศรุนแรงและเป็นอันตรายต่อการบินด้วยทุกครั้ง



รูปที่ 2-6

รูปที่ 2-7

4.2 Microbursts

หมายถึง กระแสอากาศไหลลงอย่างรุนแรงที่เกิดเป็นบริเวณแคบๆ มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1/4 - 2 1/2 ไมล์ ในช่วงเวลาสั้นๆ ประมาณ 2-5 นาที และก่อให้เกิดลมพัดตัดกันในระดับต่ำ โดยมีความเร็วมากกว่า 3,000 ฟุตต่อนาที ซึ่งเป็นอันตรายอย่างรุนแรงที่สุดต่อการบินอันเนื่องมาจากขนาดเล็กและมีการเปลี่ยนแปลงกระสวนของลมอย่างรวดเร็ว เป็นผลทำให้เกิดลมพัดตัดกันอย่างรุนแรงที่สุด ซึ่งคุณลักษณะดังกล่าวนี้จะทำให้กระแสอากาศไหลลงของ Microburst เคลื่อนลงไปยังพื้นดิน และแผ่เป็นรัศมีในทางระดับก่อให้เกิดกระแสลมต้าน-ลมส่งท้าย

มีความเร็วแตกต่างกันมากกว่า 50 นอต โดยอากาศยานส่วนใหญ่จะตกอยู่ภายใต้อิทธิพลของ Microburst ระหว่างวิ่งขึ้นและร่อนลง ซึ่งขณะนั้นอากาศยานมีขีดจำกัดในการเร่งความเร็วของเครื่องยนต์

เมื่ออากาศยานบินผ่านเข้าไปในบริเวณที่มี Microburst จะประสบกับกระแสลมต้าน และตามด้วยกระแสอากาศไหลลงอย่างรุนแรงในทันทีทันใด หลังจากนั้นจะเป็นลมส่งท้ายเป็นผลให้เกิดการสูญเสียพลังงาน และระยะสูงลดลง อากาศยานอุบัติเหตุหลายๆ ครั้งที่สำคัญๆ มีผลสืบเนื่องมาจากลมพัดตัดกันที่เกิดจาก Microburst โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อลมพัดตัดกันมีความรุนแรงมากและเกิดในระดับต่ำ นักบินขาดการระมัดระวังในการติดต่อกับภาคพื้นดิน หรือแก้ไขปัญหาล้มเหลว

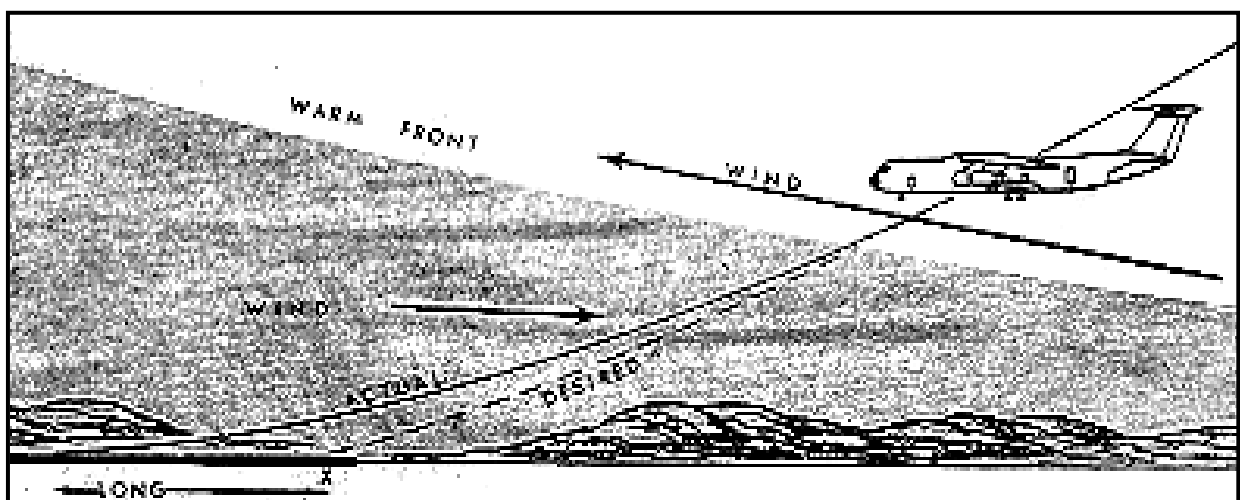
การรายงานข่าวอากาศจากนักบิน (PIREPS) ที่ประสบกับ Microburst ไปยังหอบังคับการบิน หรือหน่วยงานควบคุมการจราจรทางอากาศจึงมีความจำเป็นมาก เนื่องจากสภาวะการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดของ Microburst ไม่สามารถอธิบายความรุนแรงได้ถูกต้องนักหากไม่ประสบกับ Microburst ด้วยตัวเองจริงๆ เท่านั้น (รายละเอียดตามหัวข้อ Microburst)

4.3 แนวปะทะอากาศ (Fronts)

ลมพัดตัดกันที่รุนแรงเป็นผลมาจากแนวปะทะอากาศเคลื่อนที่เร็ว (30 นอต หรือมากกว่า) และ/หรือมีอุณหภูมิแตกต่างกันอย่างน้อย 5 องศาเซลเซียส (10 องศาฟาเรนไฮต์)

ลมพัดตัดกันในระดับต่ำที่เกิดร่วมกับแนวปะทะอากาศเย็น เมื่อแนวปะทะอากาศเย็นเคลื่อนตัวผ่านบริเวณใดๆ มักมีช่วงเวลาการเกิดน้อยกว่า 2 ชั่วโมง เนื่องจากแนวปะทะอากาศเย็นจะมีความชันมากกว่า และเคลื่อนตัวเร็วกว่าแนวปะทะอากาศอุ่น

สำหรับลมพัดตัดกันที่เกิดร่วมกับแนวปะทะอากาศอุ่นนั้นจะมีอันตรายมากต่อการบิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งขณะร่อนลง แนวปะทะอากาศอุ่นที่มีลมแรงในชั้นบนสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางและความเร็วลมอย่างทันทีทันใด ดังรูปที่ 2-8 ลมพัดตัดกันที่เกิดขึ้นอาจจะคงอยู่ 6 ชั่วโมง หรือมากกว่าบริเวณด้านหน้าของ แนวปะทะอากาศ ทั้งนี้เป็นเพราะว่าแนวปะทะอากาศอุ่นมีความชันน้อย และเคลื่อนตัวช้า ซึ่งสภาพอากาศที่เกิดขึ้นได้แก่ เพดานเมฆและทัศนวิสัยต่ำ โดยจะเป็นสิ่งที่ก่อให้เกิดปัญหาต่อผู้ปฏิบัติการในอากาศได้เสมอๆ



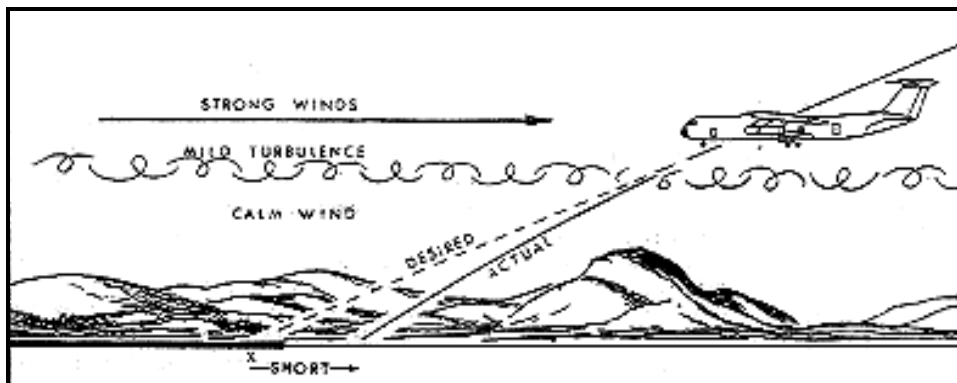
รูปที่ 2-8

4.4 กระแสลมกรดในระดับต่ำซึ่งเกิดเหนือชั้นอุณหภูมิกลับอันเนื่องมาจากการแผ่รังสี

(Low Level Jet at Top of Radiation Inversion)

กระแสลมกรดในระดับต่ำมักจะเกิดเหนือชั้นอุณหภูมิกลับอันเนื่องมาจากการแผ่รังสี ซึ่งจะเริ่มตั้งแต่ดวงอาทิตย์ตก และมีความรุนแรงสูงสุดก่อนดวงอาทิตย์ขึ้น และจะหายไปประมาณ 10.00 น. เนื่องจากโลกได้รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ ลักษณะอากาศดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้ทั่วทุกภูมิภาคของโลกตลอดทั้งปี

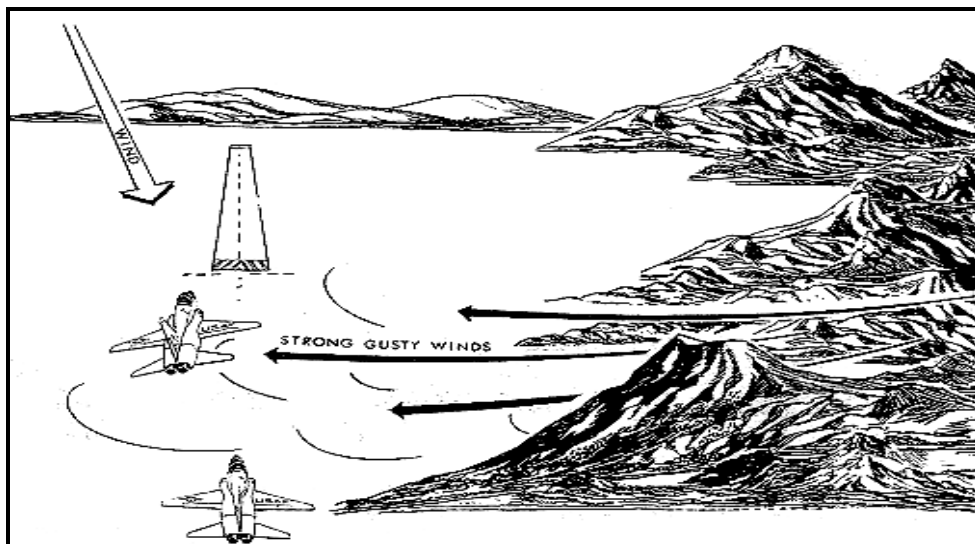
การที่โลกเย็นตัวลงจะทำให้ลมสงบ อากาศเย็น และทรงตัวดีนั้น จะสูงขึ้นไปจากพื้นดินประมาณ 300 - 1,000 ฟุต ซึ่งเป็นชั้นของการเกิดชั้นอุณหภูมิกลับ กระแสลมกรดในระดับต่ำจะเกิดขึ้นเหนือชั้นอุณหภูมิกลับ โดยปกติความเร็วลมประมาณ 30 นอต แต่บางครั้งเคยตรวจพบได้มากกว่า 65 นอต ซึ่งทุกครั้งที่เกิดชั้นอุณหภูมิกลับอันเนื่องมาจากการแผ่รังสีเกิดขึ้น มีโอกาสเกิดลมพัดตัดกันในระดับต่ำได้เช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 2-9



รูปที่ 2-9

4.5 ลมช่องเขาและคลื่นภูเขา (Funneling wind and Mountain wave)

สนามบินบางแห่งจะมีลมที่ทำให้เกิดอันตรายต่อการบินเกิดขึ้น โดยมีสาเหตุมาจากลมช่องเขา ซึ่งเกิดจากภูมิประเทศรอบๆ สนามบินเป็นภูเขาและมีหุบเขาเป็นช่องการไหลของอากาศ ทำให้เกิดลมพัดแรงขึ้น และมีทิศทางไปยังเส้นทางบินของอากาศยาน โดยกระแสนั้นบางครั้งมีความเร็วถึง 80 นอต ดังนั้นเมื่อทำการบิน ในบริเวณใกล้ภูเขาหรือช่องเขา ให้ระมัดระวังอันตรายจากลมแรงดังกล่าวด้วย เช่น สนามบินโคกเกเทียม ดังรูปที่ 2-10



รูปที่ 2-10

ส่วนคลื่นภูเขานั้นมักจะก่อให้เกิดลมพัดตัดกันบริเวณสนามบินซึ่งตั้งอยู่ด้านใต้ลมของคลื่นภูเขา ขณะเดียวกันอาจจะมีเมฆม้วน, เมฆรูปเลนส์ (ACSL) เกิดขึ้น ซึ่งแสดงถึงการเกิดคลื่นภูเขาและนั่นก็就会有ลมพัดตัดกันอีกด้วยเช่นกัน (รายละเอียดตามหัวข้อคลื่นภูเขา)

4.6 สาเหตุอื่นๆ ที่ทำให้เกิดลมพัดตัดกันในระดับต่ำ

สาเหตุที่ทำให้เกิดลมพัดตัดกันในระดับต่ำ 2 ประการ คือ

4.6.1 ลมกระโชกหรือลมแรงที่ผิวพื้น ลมที่มีความเร็วเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 10 นอต หรือมากกว่า จากค่าความเร็วลมเฉลี่ย หรือกรณีที่ลมแรงพัดผ่านอาคาร สิ่งก่อสร้างต่างๆ ที่อยู่ใกล้ทางวิ่งจะเป็นสาเหตุให้เกิดลมพัดตัดกันในบริเวณดังกล่าวซึ่งจะเป็นอันตรายต่ออากาศยานขนาดเล็กได้ การตรวจสอบสภาพพื้นที่ภูมิประเทศ และการรายงานสภาพอากาศของนักบินบริเวณใกล้ๆ ทางวิ่งจะเป็นหนทางที่ดีที่สุดในการคาดการณ์ล่วงหน้าต่อการเกิดลมพัดตัดกันจากสาเหตุดังกล่าว

4.6.2 ลมบกลมทะเล โดยทั่วไปจะเกิดบริเวณใกล้ๆ ทะเลสาบขนาดใหญ่ อ่าว หรือมหาสมุทร การที่ลมจะพัดจากพื้นดินไปยังพื้นน้ำหรือพื้นน้ำไปสู่พื้นดิน สาเหตุเกิดจากความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างพื้นดินและพื้นน้ำ ซึ่งลมทะเลนั้นจะเกิดเป็นบริเวณไม่กว้างมากนัก (small scale) ของความแตกต่างของมวลอากาศสองมวล กระแสลมที่พัดบริเวณดังกล่าวมีความเร็วประมาณ 15-20 นอต และจะพัดลึกเข้าไปในแผ่นดินประมาณ 10-20 ไมล์ ซึ่งจะมีความรุนแรงที่สุดในตอนบ่ายโดยกระแสลมที่พัดมีความสูงถึงประมาณ 2,000 ฟุต

ส่วนลมบกนั้นจะเกิดขึ้นในเวลากลางคืน เนื่องจากพื้นดินมีอุณหภูมิต่ำกว่าพื้นน้ำ แต่จะมีความรุนแรงน้อยกว่าลมทะเล

น้ำแข็งเกาะเครื่องบิน (Aircraft Icing)

1. กล่าวโดยทั่วไป

การเกิดน้ำแข็งเกาะเครื่องบินเป็นอุปสรรคที่สำคัญมากในการบิน และยากมากในการทำลาย โดยทั่วไปแล้วเกิดจากเม็ดละอองน้ำที่เย็นจัดต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (Supercooled water droplet) หรือการรวมตัวของละอองไอน้ำที่มีอยู่ในบรรยากาศในสภาพของก๊าซที่เปลี่ยนเป็นผลึกน้ำแข็ง (Ice crystal) โดยไม่ผ่านการเป็นของเหลว

การเกิดน้ำแข็งจะเกิดได้ทั้งภายในและภายนอกเครื่องยนต์ โดยปกติจะเกิดตามบริเวณส่วนหน้าของปีกและใบพัด เมื่อเครื่องบินบินผ่านเม็ดละอองน้ำที่เย็นกว่าจุดเยือกแข็งภายในกลุ่มเมฆหรือน้ำฟ้าที่แข็งตัวแล้ว (Freezing precipitation) หรือแม้กระทั่งบินในสภาวะอากาศแจ่มใส น้ำแข็งเกาะเครื่องบินยังสามารถเกิดขึ้นขณะอยู่ที่ลานจอดเมื่อมีสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม

การเกิดน้ำแข็งภายนอกเครื่องบินทำให้เครื่องบินมีน้ำหนักมากขึ้น ลดประสิทธิภาพในการบิน หรืออาจเปลี่ยนคุณสมบัติด้านพลศาสตร์ขณะบินในอากาศ ในกรณีที่รุนแรงมากเครื่องบินจะไม่สามารถบินอยู่ในอากาศได้ หากเกิดน้ำแข็งที่เครื่องยนต์ทำให้กำลังของเครื่องยนต์ลดลงและในที่สุดก็หมดกำลัง การเกิดน้ำแข็งเกาะเครื่องบินนั้นมียุทธวิธีต่อเครื่องบินดังนี้

- 1.1 ลดประสิทธิภาพในการบิน
- 1.2 กำลังของเครื่องยนต์ลดลง
- 1.3 ลดประสิทธิภาพในการควบคุมเครื่องบิน
- 1.4 ทักษะวิสัยภายนอกลดลง
- 1.5 ทำให้เครื่องวัดต่างๆ แสดงค่าผิดพลาด
- 1.6 ทำให้การสื่อสารขัดข้องหรือถูกรบกวน

จากการทดลองพบว่าน้ำแข็งที่เกาะอยู่ตามส่วนหน้าของแพนอากาศ (Airfoil) มีความหนา 1/2 นิ้ว ทำให้เสียแรงยก (Lift) ไปถึง 50 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มแรงต้านทาน (Drag) ขึ้นถึง 50 เปอร์เซ็นต์ พร้อมกัน เคยมีรายงานว่าน้ำแข็งสามารถเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วโดยหนา 2-3 นิ้ว ภายในเวลาไม่กี่นาที

น้ำแข็งเกาะเครื่องบินแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือน้ำแข็งเกาะลำตัวเครื่องบิน และน้ำแข็งเกาะเครื่องยนต์ (Structural Icing & Induction Icing)

2. น้ำแข็งเกาะลำตัวเครื่องบิน (Structural Icing)

ต้องมีเงื่อนไข 2 ประการเกิดขึ้นพร้อมกัน จึงจะทำให้มีน้ำแข็งจับเกาะลำตัวเครื่องบิน

2.1 อุณหภูมิของอากาศและอุณหภูมิของลำตัวเครื่องบิน (Free air temperature and aircraft surface temperature) ต้องเท่ากับหรือต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส

จากการทดลองในอุโมงค์ลมปรากฏว่าเมื่ออากาศที่อิ่มตัวไหลผ่านพื้นผิววัตถุใดๆ สามารถเกิดน้ำแข็งเกาะวัตถุนั้นได้จนอุณหภูมิสูงถึง 4 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของวัตถุนั้นเย็นลงจากการระเหย และความกดที่เปลี่ยนไปเนื่องจากการไหลของกระแสอากาศ ในทางกลับกันวัตถุจะร้อนขึ้นจากการเสียดสี และตกกระทบของละอองน้ำ

หากเครื่องบินมีความเร็วน้อยกว่า 400 นอต ความร้อนและความเย็นดังกล่าวนี้จะลบล้างกันไปได้ ดังนั้น พอลจะสรุปได้ว่า น้ำแข็งจะเกาะจับตัวเครื่องบินได้เมื่ออากาศมีอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า และมีโอกาสเกิดได้น้อยเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า -40 องศาเซลเซียส

2.2 มีเม็ดละอองน้ำเย็นจัดที่มองเห็นได้และความชื้นสูง (Supercooled visible liquid water and high humidity) เช่น เมฆและหมอก

โดยทั่วไปละอองน้ำในอากาศจะไม่แข็งตัวที่ 0 องศาเซลเซียส ต่างกับน้ำในภาชนะ แต่จะไปแข็งตัวที่ประมาณ -10 ถึง -40 องศาเซลเซียส ละอองน้ำยังมีขนาดเล็กเท่าไรก็จะมีจุดเยือกแข็งต่ำเท่านั้น น้ำค้างแข็ง (Frost) อาจเกิดขึ้นได้ในอากาศแจ่มใสที่มีความชื้นสูง โดยที่อากาศและลำตัวเครื่องบินมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง

ฝนแข็งและฝนละอองแข็ง (Freezing rain and freezing drizzle) เป็นสภาวะที่อันตรายที่สุดในการเกิดน้ำแข็งเกาะลำตัวเครื่องบิน เนื่องจากเกิดสะสมได้มากในเวลาอันรวดเร็ว และยังกำจัดได้ยากมากอีกด้วย

3. ชนิดของน้ำแข็งเกาะตัวเครื่องบิน (Type of Structural Icing)

โดยทั่วไปมี 3 ชนิดใหญ่ๆ คือ น้ำแข็งใส (Clear ice) , น้ำแข็งขุ่น (Rime ice) และน้ำค้างแข็ง (Frost)

3.1 น้ำแข็งใส (Clear ice หรือ Glaze) เป็นปรากฏการณ์ที่ร้ายแรงที่สุด เพราะน้ำแข็งเกาะแน่นอยู่กับพื้นผิวเลยทีเดียว เกิดจากเม็ดละอองน้ำที่เย็นกว่าจุดเยือกแข็งขนาดใหญ่ มากระทบกับพื้นผิวของเครื่องบิน แล้วกระจายออกไปเกิดการแข็งตัว ณ ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส เมื่อเม็ดละอองน้ำกระทบกับผิวเครื่องบิน แล้วแผ่ตัวออกเคลือบผิวเครื่องบินและเย็นตัวลงอย่างช้าๆ ทำให้มีฟองอากาศปะปนอยู่ในน้ำแข็งน้อยมากจึงมองเห็นเป็นน้ำแข็งใส ซึ่งยากแก่การทำลายเป็นอย่างยิ่ง น้ำแข็งใสนี้มักจะเกิดในบริเวณที่มีอุณหภูมิระหว่าง 0 ถึง -10 องศาเซลเซียส แต่สำหรับในเมฆคิวมูโลนิมบัส (Cumulonimbus) นั้น สามารถเกิดได้จนอุณหภูมิเย็นลงถึง -25 องศาเซลเซียส ก็มี ถ้าเม็ดละอองน้ำที่เย็นกว่าจุดเยือกแข็งมีขนาดใหญ่มาก ก็ทำให้เกิดการสะสมน้ำแข็งใสมากขึ้น สภาวะที่ทำให้เกิดน้ำแข็งใสมักจะเกิดจากเมฆก้อน (Cumuliform cloud) และมักเกิดอย่างรวดเร็วขณะที่บินผ่านฝนแข็ง (Freezing rain) หรือฝนละออง (Drizzle)

3.2 น้ำแข็งขุ่น (Rime ice) เกิดจากการเย็นลงอย่างทันทีทันใดของเม็ดละอองน้ำขนาดเล็กที่เย็นกว่าจุดเยือกแข็ง เมื่อมากระทบกับพื้นผิวของเครื่องบิน โดยทั่วไปแล้วจะเกิดได้ตั้งแต่อุณหภูมิ 0 ถึง -40 องศาเซลเซียส แต่มีโอกาสเกิดได้มากที่สุดที่ย่านอุณหภูมิ -10 ถึง -20 องศาเซลเซียส เม็ดละอองน้ำเล็กๆ เหล่านี้จะแข็งตัวในลักษณะที่ยังเป็นหยดอยู่ ดังนั้นจึงมีที่ว่างหรือฟองอากาศในระหว่างหยดต่อหยด จึงมองเห็นเป็นสีขาวขุ่นและทึบแสง ซึ่งทำลายได้ง่ายกว่าน้ำแข็งใส น้ำแข็งขุ่นนี้ไม่แผ่กระจายออกไปเหมือนน้ำแข็งใส ส่วนใหญ่แล้วน้ำแข็งขุ่นจะเกิดเมื่อบินผ่านเมฆแผ่น (Stratiform cloud) แต่ก็สามารถเกิดได้เมื่อบินผ่านเมฆก้อน ซึ่งในสภาวะพายุฝนฟ้าคะนองนั้น พบว่าสามารถเกิดได้แม้อุณหภูมิจะลดลงถึง -40 องศาเซลเซียส

3.3 น้ำค้างแข็ง (Frost) มีลักษณะคล้ายที่ปรากฏบนใบไม้ในเวลาเช้าตรู่ของวันที่มีความชื้นมาก และอุณหภูมิของพื้นผิวต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส น้ำค้างแข็งเป็นผลึกสีขาวบางๆ คล้ายหิมะมาก

เมื่อเครื่องบินบินจากบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส ไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่า และมีความชื้นมากกว่าอย่างรวดเร็ว ความชื้นในอากาศอุ่น จะเกิดการระเหิดกลับ (Deposition) ในทันทีที่สัมผัสพื้นผิวเย็นจัดของเครื่องบิน น้ำค้างแข็งเกิดที่ผิวของเครื่องบินมีลักษณะต่างๆ ขจัดได้ง่ายโดยการบินผ่านอากาศอุ่นต่อไป

อีกเล็กน้อยก็จะหายไปเอง น้ำค้างแข็งมักเกิดขึ้นใต้ปีกของเครื่องบินไอพ่นในระหว่างร้อนหรือเมื่อลงสนามบินเรียบร้อยแล้ว ในกรณีที่บินมาเป็นระยะทางไกลๆ ในขณะที่ร้อนลงผ่านอากาศอุ่นที่มีความชื้นสูงก็จะเกิดน้ำค้างที่กระจกหน้าต่าง ทำให้ทัศนวิสัยของห้องนักบินเสียไป เครื่องบินที่จอดอยู่นอกโรงเก็บตลอดคืนอาจจะเกิดน้ำค้างแข็งตามพื้นผิวส่วนนอกของเครื่องบินได้ อันเนื่องมาจากการแผ่รังสีความร้อนออก (Radiation cooling) ของพื้นผิวในเวลากลางคืน จึงต้องขจัดไปก่อนทำการบิน

อย่างไรก็ตามปัจจัยอีกหลายอย่างที่มีผลต่อการเกิดน้ำแข็งชนิดต่างๆ ได้แก่การแข็งตัวของละอองน้ำเย็นจัด อุณหภูมิความร้อนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ ปริมาณและขนาดของเม็ดละอองน้ำในอากาศ ความเร็วของเครื่องบิน ฯลฯ

4. ความรุนแรงของน้ำแข็งเกาะตัวเครื่องบิน (Intensity of Structural Icing)

ความรุนแรงของน้ำแข็งที่เครื่องบินจะสะสมไว้ได้มากเท่าใด ขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของเครื่องบินนั้น บริเวณแผนอากาศยังบางมาก โอกาสที่ให้น้ำแข็งเกาะก็มีมากตามไปด้วย เมื่ออากาศมีความชื้นมากน้ำแข็งเกาะเครื่องบินก็มีมากด้วยเช่นกัน

เมื่อเครื่องบินบินไป โอกาสที่เม็ดละอองน้ำเม็ดใหญ่ๆ จะมากระทบกับพื้นผิวของเครื่องบินได้มีมากกว่าเม็ดเล็กๆ เนื่องจากมีแรงเฉื่อย (Inertia) มากกว่า บางครั้งเมื่อเม็ดละอองน้ำนั้นมีขนาดเล็ก อาจพัดไปโดยไม่กระทบกับพื้นผิวของเครื่องบินเลยก็ได้

เครื่องบินที่มีความเร็วสูงจะปะทะเม็ดละอองน้ำได้มาก จึงมีการสะสมปริมาณน้ำแข็งได้มากกว่าเครื่องบินที่มีความเร็วต่ำ

เกณฑ์พิจารณาความรุนแรงของน้ำแข็งเกาะเครื่องบิน แบ่งได้เป็น 4 ระดับ ดังนี้

4.1 ขั้นเล็กน้อย (Trace) มีน้ำแข็งปรากฏให้เห็นบ้างแล้ว อัตราการสะสมของน้ำแข็งมีมากกว่าอัตราการสลายตัวอันเนื่องจากการระเหิดเล็กน้อย แต่ยังไม่แสดงผลกระทบต่อการบิน ยกเว้นจะอยู่ในสภาวะนี้นานเกิน 1 ชั่วโมง

4.2 ขั้นเบา (Light) อัตราการสะสมของน้ำแข็งที่อาจสร้างปัญหาในการบิน หากอยู่ในย่านน้ำแข็งนานนับชั่วโมง บางครั้งต้องใช้อุปกรณ์กำจัดน้ำแข็ง

4.3 ขั้นปานกลาง (Moderate) อัตราการสะสมของน้ำแข็งที่ทำให้เกิดอันตราย แม้จะเกิดขึ้นเพียงเวลาสั้นๆ จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์กำจัดน้ำแข็ง หรือเปลี่ยนเส้นทางบิน

4.4 ขั้นรุนแรง (Severe) อัตราการสะสมของน้ำแข็งที่แม้แต่อุปกรณ์กำจัดน้ำแข็งก็ไม่อาจลดหรือควบคุมอันตรายได้

5. การก่อตัวของน้ำแข็งเกาะเครื่องบินปีกตรึง (Ice formation on fixed wing aircraft)

หากเปรียบเทียบแบบเก่าที่มีลำตัวหนา กับเครื่องบินไอพ่นแบบใหม่ที่ลำตัวบางและเร็วกว่า เครื่องบินแบบใหม่มีแนวโน้มที่จะเกิดการสะสมของน้ำแข็งได้มากกว่า แต่อย่างไรก็ตามเครื่องบินแบบใหม่ที่บินด้วยความเร็วสูง จะเกิดความร้อนตามหลักอากาศพลศาสตร์จึงทำให้เกิดอันตรายจากน้ำแข็งเกาะเครื่องบินได้น้อยกว่า

5.1 ปีกและหาง (Wing and Tail) หากมีการสะสมของน้ำแข็งที่ปีกและหางจะทำให้พื้นผิวไม่ราบเรียบ การไหลผ่านของอากาศเป็นไปอย่างไม่สะดวกจึงทำให้เครื่องบินลดแรงยก ลดแรงฉุด และเพิ่มแรงต้านระดับบิน

จะลดลง อันตรายที่แท้จริงมีได้เกิดจากน้ำหนักของน้ำแข็งที่สะสม แต่เกิดจากการลดแรงยกและลดแรงขับ จึงทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องบินลดลง

5.2 ใบพัด (Propellers) การสะสมของน้ำแข็งที่ใบพัดจะไปลดประสิทธิภาพของใบพัด เนื่องจากความไม่สมดุลของน้ำแข็งบนใบพัด ซึ่งโดยปกติแล้วใบพัดมีความละเอียดอ่อนต่อความสมดุลเป็นอย่างยิ่ง แม้น้ำแข็งเพียงเล็กน้อยก็ทำให้เสียสมดุลแล้ว ผลที่เกิดจากความสั่นสะเทือนจะส่งผลไปยังตัวเครื่องยนต์ด้วย ใบพัดที่มีรอบการหมุนต่ำจะถูกน้ำแข็งเกาะได้มากกว่าพวกที่มีรอบจัด เนื่องจากความร้อนที่แตกต่างกัน

5.3 ท่อวัดความเร็วและความกดอากาศ (Pitot tube and statics pressure ports) น้ำแข็งที่เกาะบริเวณท่อวัดความเร็วกระแสน้ำ (Pitot) การอ่านความเร็วจะผิดพลาดไป หากเกาะที่ส่วนใช้วัดความกดอากาศ ก็จะเป็นผลให้เครื่องวัดระยะสูง (Altimeter) แสดงค่าคลาดเคลื่อน ซึ่งเป็นอันตรายต่อการบินมาก พึงระลึกไว้ว่า น้ำแข็งจะเกาะบริเวณนี้ได้เร็วพอๆ กับบริเวณอื่น

5.4 สายอากาศวิทยุ (Antenna) น้ำแข็งที่เกาะสายอากาศวิทยุบนเครื่องบิน ทำให้การติดต่อสื่อสารขัดข้องขาดหายไปได้ หากจะติดต่อขอเปลี่ยนเส้นทาง หรือหลบหลีกบริเวณที่เกิดน้ำแข็งก็จะเป็นอุปสรรคในการติดต่อสื่อสาร

5.5 กำบังลม (Windshield) น้ำแข็งที่เกาะกำบังลมมีอันตรายมากในระหว่างขึ้นหรือลงจอด เพราะเกล็ดน้ำแข็ง (Frost particles) เล็กๆ บนกำบังลมจะทำตัวเหมือนกับเป็นแกนกลางการระเหิด (Sublimation nuclei) ซึ่งจะช่วยให้เกิดการสะสมน้ำแข็งได้ง่ายขึ้น ทศวินัยจะเสียไปอาจต่ำถึงศูนย์

5.6 เครื่องยนต์ (Engine) น้ำแข็งเกาะเครื่องยนต์มักปรากฏบริเวณ ช่องลม (Airscoops) ช่องอากาศเข้า (Scoops inlet) ใส์กรองอากาศ (Carburator inlet) ฯลฯ หากเกิดน้ำแข็งเกาะตอนหน้าของเครื่องยนต์ จะทำให้อากาศเข้าที่ท่อนำอากาศไม่สะดวก เครื่องยนต์จะลดประสิทธิภาพ น้ำแข็งสามารถเกิดขึ้นได้ทุกๆ ส่วนของเครื่องยนต์ที่มีพื้นผิวสัมผัสกับเม็ดละอองน้ำ

6. การก่อตัวของน้ำแข็งบนเครื่องบินปีกหมุน (Ice formation on rotary wing aircraft)

การเกิดน้ำแข็งเกาะบนเครื่องบินประเภทนี้ มักจะมุ่งไปที่บริเวณโรเตอร์ ซึ่งจะต่างไปจากการเกิดน้ำแข็งที่ใบพัดของเครื่องบินปีกตรึง เนื่องจากความเร็วในการหมุนรอบของเครื่องยนต์โรเตอร์ที่ช้ากว่าและขนาดของโรเตอร์ก็เล็กกว่าขนาดของปีกของเครื่องบินปีกตรึงนั่นเอง

6.1 ระบบโรเตอร์ (Rotor system) น้ำแข็งเกาะบริเวณระบบโรเตอร์หลัก (Main rotor) หรือระบบโรเตอร์หาง (Antitorque rotor) จะทำให้เกิดการสั่นอย่างรุนแรง สูญเสียประสิทธิภาพหรือควบคุมการบินไม่ได้ และยังลดรอบการหมุนของใบพัดอีกด้วย ซึ่งทำให้ลดระดับลงจอดกระทำไ้ยาก

6.2 ครีบบใบพัดโรเตอร์หลัก (Main Rotor blade) มีหลายองค์ประกอบที่ทำให้การเกิดน้ำแข็งบริเวณนี้ลดลงได้ เช่น แรงหนีศูนย์กลาง, การแอ่นโค้งของใบพัด, การปรับมุมของใบพัดขณะหมุน, การหมุนช้ากว่าที่โคนใบพัดใกล้จุดศูนย์กลางหรือการหมุนเร็วกว่าที่ปลายใบพัด แต่ถึงกระนั้นพบว่าน้ำแข็งก็ยังสามารถเกาะได้อย่างรวดเร็วที่บริเวณกลางใบพัด ซึ่งเป็นผลให้เสียสมดุลจะเกิดการสั่นอย่างรุนแรง

6.3 โรเตอร์หาง (Tail rotor) มีผลกระทบและการเกิดคล้ายโรเตอร์หลัก แรงหนีศูนย์กลางและมุมของใบพัดขณะหมุนปะทะกับเมฆจะช่วยลดอัตราการเกิดของน้ำแข็ง

6.4 แผ่นกรองอากาศเข้า (Air intake screen) น้ำแข็งเกาะบริเวณนี้จะเกิดขึ้นได้เร็วกว่าบริเวณโรเตอร์ น้ำแข็งที่ผ่านทะลุแผ่นกรองนี้จะไปเคลือบสายเคเบิลควบคุมและอาจทำให้การเคลื่อนที่ของปีกผีเสื้อในเครื่องยนต์ไม่สะดวก ก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับระบบการควบคุมเครื่องยนต์

7. น้ำแข็งเกาะเครื่องยนต์ (Induction Icing)

นอกจากน้ำแข็งเกาะลำตัวเครื่องบินได้แล้ว ยังสามารถเกาะเครื่องยนต์ได้อีก ไม่ว่าจะเป็นที่ระบบนำอากาศเข้าหรือที่ตัวเชื้อเพลิงเอง ซึ่งล้วนเป็นส่วนประกอบสำคัญของการทำงานของเครื่องยนต์ นักบินจำเป็นต้องพิจารณาถึงความเป็นไปได้ที่น้ำแข็งจะเกาะเครื่องยนต์ในระหว่างบินในอากาศด้วย น้ำแข็งเกาะเครื่องยนต์มีส่วนทำให้กำลังของเครื่องยนต์ลดลง เนื่องจากน้ำแข็งเป็นตัวกีดขวางทางเดินของกระแสอากาศที่จะไหลเข้าไปในเครื่องยนต์ มีผลกระทบต่อเครื่องวัดปริมาณเชื้อเพลิงและชิ้นส่วนต่างๆ ที่เคลื่อนไหวได้ อาจถูกน้ำแข็งเกาะจนขยับไม่ได้

7.1 น้ำแข็งเกาะในคาร์บูเรเตอร์ (Carburetor Icing) การเกิดน้ำแข็งในคาร์บูเรเตอร์นั้น เป็นกรณีพิเศษในจำพวกการเกิดน้ำแข็งในขณะไม่มีเมฆ (Clear air Icing) ซึ่งความจริงแล้วเป็นเรื่องในเชิงวิชาการ ไม่ใช่เป็นเรื่องในทางอุตุนิยมวิทยาโดยตรง การเย็นลงเนื่องจากการกลายเป็นไอของเชื้อเพลิง และความกดอากาศที่ลดลงขณะอากาศผ่านคาร์บูเรเตอร์เป็นผลทำให้เกิดน้ำแข็งชนิดนี้ ถ้าหากความชื้นในอากาศสูงการเกิดน้ำแข็งในคาร์บูเรเตอร์อาจเกิดที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียสก็ได้ แต่ที่รุนแรงที่สุดมักจะเกิดระหว่าง 10 ถึง 15 องศาเซลเซียส น้ำแข็งชนิดนี้บางทีเกิดขึ้นขณะบินเข้าไปในเมฆ อันตรายจากการเกิดน้ำแข็งชนิดนี้นับว่ารุนแรงที่สุด เพราะจะทำให้เครื่องยนต์ดับได้ เครื่องควบคุมความร้อนในคาร์บูเรเตอร์นั้นนับว่าเป็นเครื่องช่วยกำจัดและป้องกันการเกิดน้ำแข็งชนิดนี้ได้ดีที่สุด คือทำให้อากาศที่จะใช้อุ่นเสียก่อนที่จะเข้าไปในคาร์บูเรเตอร์

7.2 การเกิดน้ำแข็งในเชื้อเพลิง (Fuel Icing) สำหรับเครื่องบินไอพ่นแล้วน้ำสามารถเข้าไปผสมในเชื้อเพลิงได้ง่าย เชื้อเพลิงสามารถดูดซับน้ำที่มาจากความชื้นในอากาศได้บางส่วน น้ำดังกล่าวนี้มากเพียงพอที่จะเกิดเป็นน้ำแข็งในระบบเชื้อเพลิงเมื่ออุณหภูมิของเชื้อเพลิงเท่ากับหรือต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ ฉะนั้นในการเติมเชื้อเพลิงในเวลาฝนตกหรือมีความชื้นมาก น้ำจะผสมเข้าไปกับเชื้อเพลิง เมื่อเครื่องบินนั้นขึ้นไปสูงๆ อากาศก็ยิ่งเย็นลง เชื้อเพลิงสามารถดูดซับน้ำได้น้อยลง จึงทำให้มีน้ำแยกตัวมาเกาะอยู่ตามพื้นผิวของน้ำมัน และเมื่อมีความเย็นมากพอน้ำนี้ก็จะเป็นน้ำแข็ง การป้องกันก็คือทำให้เชื้อเพลิงอุ่นเสียก่อนที่จะผ่านเข้าไปใน หม้อกรองเชื้อเพลิง โดยการติดตั้งเครื่องทำความร้อนที่เหนือหม้อกรองเชื้อเพลิง ซึ่งความร้อนนี้อาจมาจากกระแสไฟฟ้าหรือเครื่องยนต์ก็ได้

7.3 ระบบดูดอากาศ (Induction system) น้ำแข็งก่อตัวได้ในระบบดูดอากาศ ไม่ว่าจะเป็นเวลาใด เพียงแต่มีเงื่อนไขการเกิดที่เหมาะสม (จุดเยือกแข็งและละอองน้ำ) ยิ่งไปกว่านั้นน้ำแข็งเกาะเครื่องยนต์ยังเกิดได้ในอากาศแจ่มใส ขณะที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงและอุณหภูมิประมาณ 10 เซลเซียส หรือต่ำกว่า

7.4 ช่องดูดอากาศเข้า (Air intake duct) น้ำแข็งเกาะช่องดูดอากาศเข้าได้เสมอ ที่บริเวณรอบๆ ช่องดูดอากาศเข้า และตามทางผ่านที่เป็นส่วนโค้งจากช่องดูดอากาศเข้าจนถึงคาบูเรเตอร์ สำหรับเครื่องบินไอพ่นอาจเกิดน้ำแข็งเกาะได้แม้ในอากาศแจ่มใสที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดเยือกแข็ง หรือในขณะที่ขับเคลื่อนอยู่บนทางวิ่ง หรือระหว่างไต่ระดับขึ้นลง เนื่องจากความกดในช่องดูดอากาศเข้าจะลดลง เป็นเหตุให้อุณหภูมิต่ำลง จนกระทั่งเกิดการกลั่นตัวหรือระเหิดกลับ เกิดเป็นน้ำแข็ง ทำให้ขนาดของช่องดูดอากาศเข้าเล็กลง อุณหภูมิจุดกลั่นตัวหรือระเหิดกลับนี้แตกต่างกันไปตามชนิดของเครื่องยนต์ จากการศึกษาพบว่าอากาศภายนอกที่มีอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส หรือ

ต่ำกว่าและมีความชื้นสูงก็จะเกิดน้ำแข็งในช่องดูดอากาศเข้าอย่างแน่นอน โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าอุณหภูมิใกล้กับจุดเยือกแข็ง

7.5 ครีบบรรจุอากาศเข้า (Inlet guide vanes) น้ำแข็งเกิดขึ้นได้เมื่อละอองน้ำที่เย็นจัดในอากาศกระทบกับตัวปรับมุมอากาศ ขณะที่น้ำแข็งเพิ่มมากขึ้นก็จะไปลดสภาพคล่องของการไหลของอากาศเข้าสู่เครื่องยนต์ เป็นผลให้เครื่องยนต์ลดประสิทธิภาพลงจนกระทั่งดับไปในที่สุด ยิ่งกว่านั้นน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่อาจหลุดเข้าไปในเครื่องยนต์ ทำให้เครื่องยนต์เสียหายได้

8. สภาพอากาศที่เอื้ออำนวยให้เกิดน้ำแข็งเกาะเครื่องบิน

บริเวณที่มีโอกาสเกิดน้ำแข็งเกาะเครื่องบิน ในบรรยากาศโลกแล้วส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและลักษณะของเมฆ ซึ่งแปรเปลี่ยนได้ตามระยะสูง, สถานที่, สภาพอากาศ, ฤดูกาลและภูมิประเทศ

8.1 อุณหภูมิ โดยทั่วไปน้ำแข็งเกาะเครื่องบินจะถูกจำกัดไว้ในชั้นบรรยากาศระหว่าง 0 ถึง -40 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตามก็มีรายงานว่าเกิดน้ำแข็งในบริเวณที่ต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียสในส่วนบนของเมฆฝนฟ้าคะนอง ที่บริเวณอุณหภูมิ 0 ถึง -10 องศาเซลเซียสมักเกิดน้ำแข็งใส ที่บริเวณอุณหภูมิ -10 ถึง -15 องศาเซลเซียส จะเกิดทั้งน้ำแข็งหุ่นและใสผสมกัน ที่บริเวณอุณหภูมิ -15 ถึง -20 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่าจะเกิดน้ำแข็งชนิดหุ่น

8.2 เมฆ

เมฆอลโดคิวมูลัส (Alto cumulus) ประกอบด้วยเม็ดละอองน้ำอยู่เพียงเล็กน้อย บางครั้งอาจมีผลึกน้ำแข็งรวมอยู่ด้วย น้ำแข็งอาจก่อตัวจับเกาะเครื่องบินในลักษณะที่เป็นแผ่นและชั้นบางๆ ที่ผิวลำตัวหรือปีก และจะรุนแรงกว่า หากผิวเครื่องบินมีสัณฐานที่โค้งมน

เมฆอลโดสเตรตัส (Altostratus) น้ำแข็งอาจเกาะเครื่องบินได้ในลักษณะที่ต่างกัน ขึ้นอยู่กับส่วนของเครื่องบินที่ปะทะกับกระแสอากาศ และตำแหน่งของเครื่องบินที่สัมพันธ์กับระดับเยือกแข็ง รวมทั้งเม็ดละอองน้ำ (ไม่จำเป็นต้องเย็นจัด) เม็ดฝน ผลึกน้ำแข็ง ผลึกหิมะ ลักษณะน้ำแข็งที่ก่อตัวเช่นนี้จะค่อนข้างเบาบาง

เมฆสเตรโตคิวมูลัส (Stratocumulus) ประกอบไปด้วยเม็ดละอองน้ำขนาดเล็กซึ่งมีปริมาณน้อย ความหนาของเมฆนี้มักไม่เกิน 1 กิโลเมตร ดังนั้นจึงง่ายต่อการนำเครื่องบินไต่ขึ้นไปในระดับที่สูงกว่า สภาพน้ำแข็งเกาะเครื่องบินในเมฆนี้ไม่ค่อยรุนแรง หากไม่ได้บินอยู่ในเมฆเป็นเวลานาน

เมฆที่เกิดจากการพาความร้อน (Convective cloud) น้ำแข็งอาจเกาะเครื่องบินอย่างรุนแรง หากอยู่ในเมฆคิวมูลัส (Cumulus) ที่มีขนาดใหญ่หรือเมฆคิวมูโลนิมบัส การเพิ่มระยะสูงอาจไม่ลดความรุนแรงของน้ำแข็งที่เกิดขึ้น นอกจากในย่านที่มีอุณหภูมิของอากาศระหว่าง -20 ถึง -40 องศาเซลเซียส สภาพน้ำแข็งเกาะเครื่องบินจะลดความรุนแรงลง เนื่องจากในระดับนี้หยดน้ำอยู่ในสภาพของผลึกน้ำแข็ง แต่เคยมีบางครั้งที่น้ำแข็งจะก่อตัวคงความรุนแรงต่อไปจนอุณหภูมิลดลงถึง -40 องศาเซลเซียส

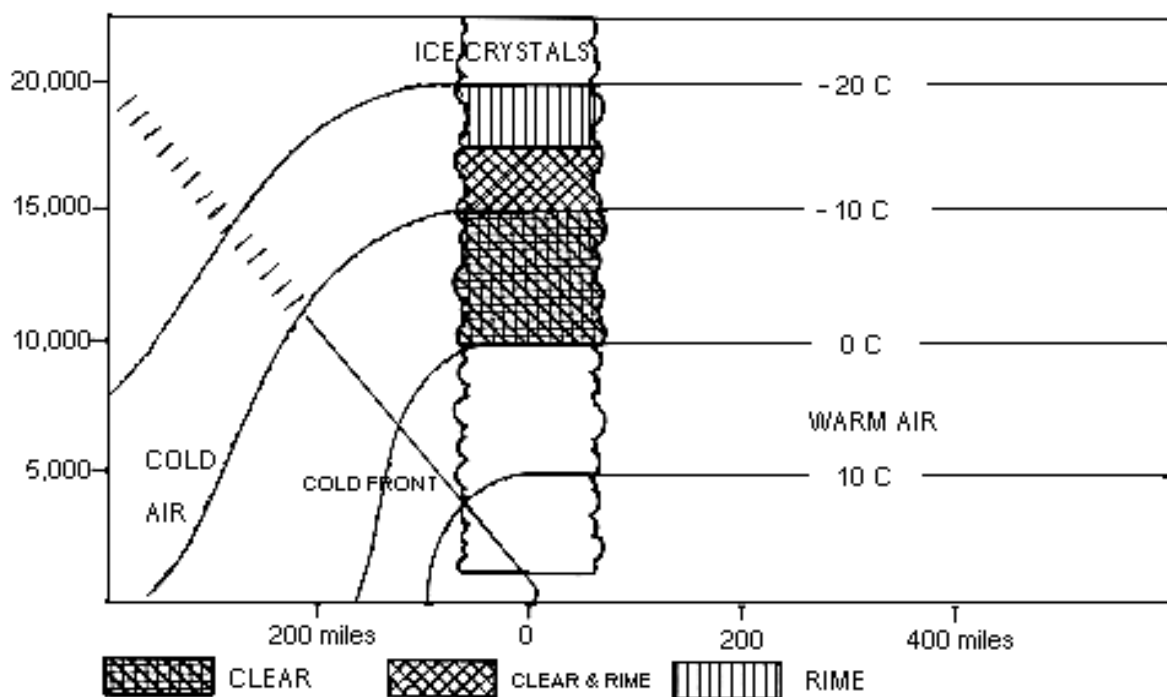
เมฆเซอร์รัส (Cirrus) น้ำแข็งเกาะเครื่องบินจะเกิดขึ้นได้ยากในเมฆเซอร์รัส แม้ว่าเมฆนี้บางครั้งจะยังมีละอองน้ำประกอบอยู่บ้าง ภายในเมฆเซอร์รัสหนาที่บนยอดของเมฆคิวมูโลนิมบัสที่กระแสอากาศไหลขึ้นพัดพาเอาละอองน้ำขึ้นไปถึง นั้น อาจเกิดน้ำแข็งเกาะเครื่องบินได้บ้างเล็กน้อย

8.3 การเกิดน้ำแข็งในแนวปะทะอากาศ (Frontal Icing) การเกิดน้ำแข็งเกาะเครื่องบินส่วนใหญ่ที่ได้รับรายงาน มักเกิดบริเวณใกล้กับแนวปะทะอากาศ นักบินจึงควรระวังเมื่อบินผ่านแนวปะทะอากาศ

8.3.1 การเกิดน้ำแข็งในแนวปะทะอากาศเย็นและแนวพายุฟ้าคะนอง โดยทั่วไปแล้ว ย่านที่เกิดน้ำแข็งจะเป็นบริเวณแคบๆ ซึ่งส่วนมากเกิดร่วมกับเมฆก้อน ย่านการเกิดน้ำแข็งจะมีความหนาประมาณ 10,000 ฟุต ชนิดน้ำแข็งส่วนมากเป็นน้ำแข็งใส การเกิดน้ำแข็งรุนแรงมากเมื่ออากาศอุ่นนั้นมีการทรงตัวไม่ดี

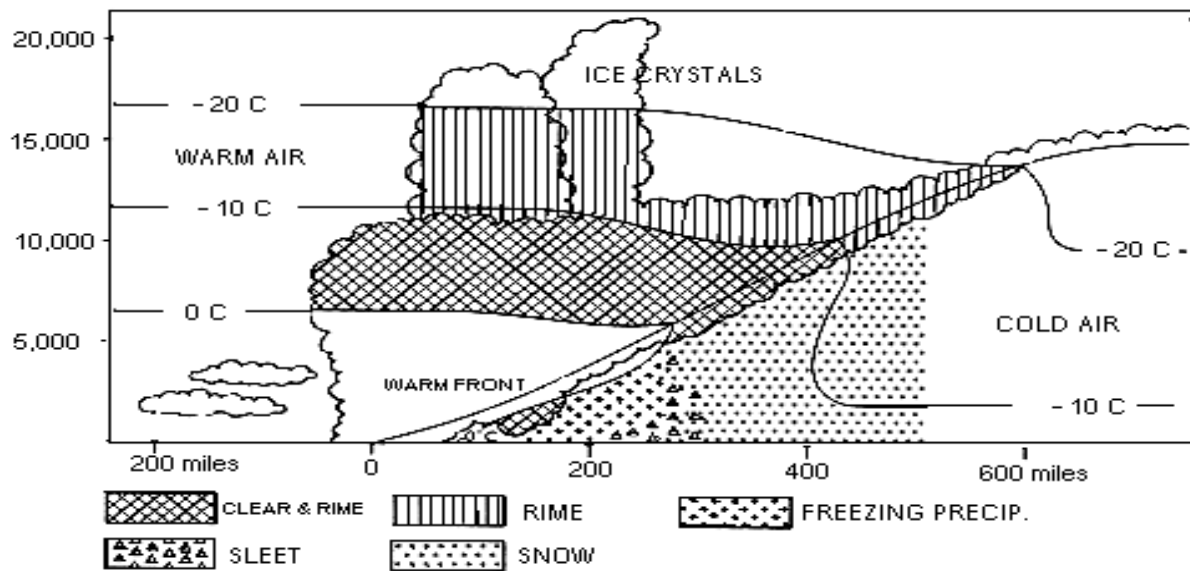
จากรูปที่ 3-1 จะเห็นว่าย่านที่เป็นน้ำแข็งจะแผ่กว้างออกไปประมาณ 100 ไมล์ และสูงจากผิวพื้นประมาณ 10,000 ฟุต

ชนิดของน้ำแข็งที่เกิดขึ้นมีลักษณะต่างๆ กันดังนี้ น้ำแข็งใสเกิดขึ้นระหว่างอุณหภูมิ 0 ถึง -10 องศาเซลเซียส น้ำแข็งใสผสมน้ำแข็งขุ่นจะอยู่ระหว่าง -10 ถึง -15 องศาเซลเซียส น้ำแข็งขุ่นจะอยู่ระหว่าง -10 ถึง -20 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามการเกิดน้ำแข็งทุกชนิดอาจเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิเย็นกว่าที่กล่าวมาแล้วได้ เช่น เกิดน้ำแข็งใสที่ -25 องศาเซลเซียส และน้ำแข็งขุ่นที่ -40 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3-1 ย่านที่เกิดน้ำแข็งในแนวปะทะอากาศเย็น (Cold front Icing zone)

8.3.2 การเกิดน้ำแข็งในแนวปะทะอากาศอุ่นและแนวปะทะอากาศคงที่ โดยทั่วไปแล้วแนวปะทะอากาศทั้งสองชนิด มีเมฆแผ่แผ่ตัวออกไปเป็นบริเวณกว้าง ทำให้บริเวณที่เกิดน้ำแข็งแผ่กว้างออกไปด้วย ย่านการเกิดน้ำแข็งจะมีความหนาประมาณ 10,000 ฟุต ชนิดของน้ำแข็งส่วนมากเป็นน้ำแข็งขุ่น ถ้าอากาศอุ่นมีการทรงตัวไม่ดีจะเป็นพวกเมฆก้อนและการเกิดน้ำแข็งเกาะก็จะรุนแรงมากกว่าที่เกิดจากเมฆแผ่ รูปที่ 3-2 แสดงบริเวณที่เกิดน้ำแข็งแผ่กว้างออกไปถึง 500 ไมล์ และสูงประมาณ 17,000 ฟุต จากผิวพื้น



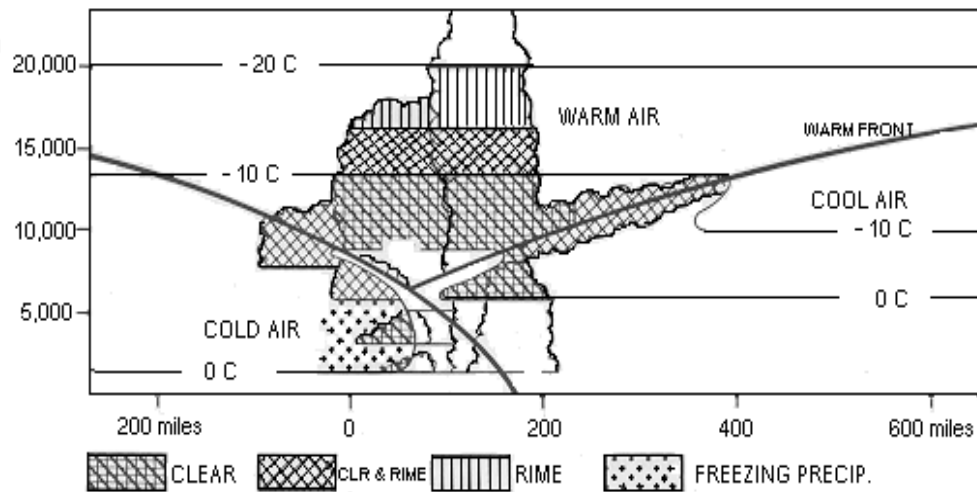
รูปที่ 3-2 ย่านที่เกิดน้ำแข็งในแนวปะทะอากาศอุ่น (Warm front Icing zone)

เมื่อบินอยู่ในระดับอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง จะมีบริเวณที่เกิดน้ำแข็งเกาะเครื่องบินในสภาวะน้ำฟ้าแข็ง (Freezing precipitation) ซึ่งเกิดจากหยดน้ำตกผ่านชั้นบรรยากาศที่อุ่นกว่าในระดับบน และมากระทบกับผิวเครื่องบินซึ่งเย็นจัด ในกรณีนี้อาจจะเกิดน้ำแข็งใสเกาะเครื่องบินได้ หลีกเลียงได้โดยการบินไต่ขึ้นสู่ระดับที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดเยือกแข็ง

บริเวณที่เกิดน้ำแข็งในแนวปะทะอากาศอุ่น พอจะสรุปได้ว่าบริเวณน้ำแข็งใสผสมน้ำแข็งขุ่นจะอยู่ ระหว่าง 0 ถึง -10 องศาเซลเซียส น้ำแข็งขุ่นจะอยู่ระหว่าง -10 ถึง -20 องศาเซลเซียส และบางครั้งอาจเกิดที่อุณหภูมิต่ำกว่า -20 องศาเซลเซียสก็ได้

8.3.3 การเกิดน้ำแข็งในแนวปะทะอากาศปิด แนวปะทะอากาศชนิดนี้มักประกอบด้วยเมฆแผ่นและเมฆก้อนปนกัน ทำให้บริเวณที่จะเกิดน้ำแข็งแผ่เป็นบริเวณกว้าง ย่านที่เกิดน้ำแข็งเกาะเครื่องบินมีความหนาประมาณ 20,000 ฟุต ชนิดของน้ำแข็งจะเป็นทั้งน้ำแข็งใส, น้ำแข็งขุ่น และทั้งสองชนิดปนกัน ถ้าอากาศมีการทรงตัวไม่ดี (Unstable) การเกิดน้ำแข็งจะรุนแรงมาก ในรูปที่แสดงไว้นั้นอากาศบริเวณที่เกิดน้ำฟ้าแข็ง (Freezing precipitation area) จะครอบคลุมบริเวณกว้างมาก ดังนั้นพึงระลึกเสมอว่าเมื่อหยดน้ำตกลงมาจากบริเวณเบื้องบนที่มีอุณหภูมิสูงกว่า จะทำให้เกิดน้ำแข็งเกาะเครื่องบินที่เป็นอันตรายมากที่สุด ชนิดของน้ำแข็งโดยสัมพันธ์กับอุณหภูมิดังนี้

น้ำแข็งใส	0 ถึง -10 องศาเซลเซียส
น้ำแข็งใสผสมน้ำแข็งขุ่น	-10 ถึง -15 องศาเซลเซียส
น้ำแข็งขุ่น	-15 ถึง -20 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า



รูปที่ 3-3 ย่านที่เกิมน้ำแข็งในแนวปะทะอากาศปิด (Occluded front Icing zone)

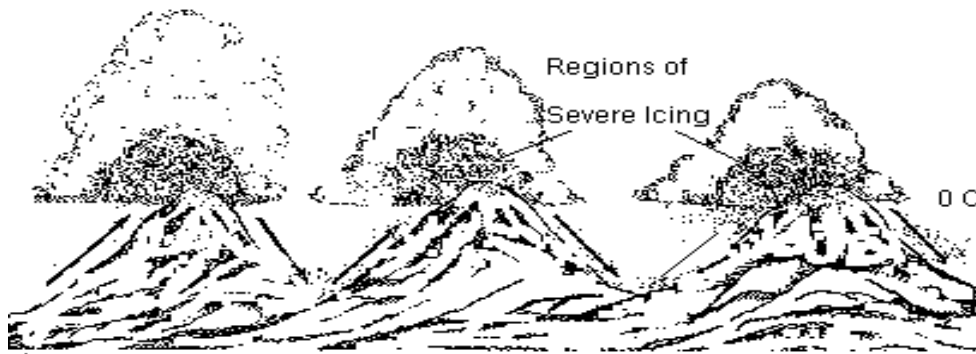
ข้อสังเกต เครื่องบินไอพ่นจะไม่เกิดน้ำแข็งเกาะในขณะที่บินเพราะว่าระดับที่เครื่องบินไอพ่นบินนั้นจะบินเหนือบริเวณที่เกิดน้ำแข็งหรือระหว่าง 0 ถึง -20 องศาเซลเซียส การเกิดน้ำแข็งจะเกิดระหว่างการไต่ขึ้น และร่อนลงเท่านั้น

8.4 การเกิดน้ำแข็งในมวลอากาศ (Air-mass Icing) มวลอากาศที่มีการทรงตัวดี (Stable) มักจะมีเมฆสเตรตัส (Stratus) ซึ่งจะช่วยขยายบริเวณเกิดน้ำแข็งให้กว้างออกไป เมฆชนิดนี้จะเป็นเมฆที่ทำให้เกิดน้ำแข็งได้อย่างรุนแรง ถ้าหากนักบินไม่เตรียมการป้องกันหรือเปลี่ยนระยะสูงหลีกเลี่ยงเสียก่อน เมฆแผ่นโดยทั่วไปนั้นมักหนาไม่เกิน 3,000 ฟุต แต่อาจเกิดซ้อนและติดต่อกันหลายระดับจนทำให้มองดูแล้วหนากว่านั้น ในกรณีนี้ย่านที่เกิดน้ำแข็งมักจะมีความหนามากที่สุดไม่เกิน 6,000 ฟุต ฉะนั้นนักบินควรคาดว่าจะเกิดน้ำแข็งขุ่นในเมฆแผ่นเมื่ออุณหภูมิของอากาศต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส ไว้เสมอ

มวลอากาศที่มีการทรงตัวไม่ดีทำให้เกิดเมฆคิวมูลัสหรือคิวมูโลนิมบัส นักบินพึงระวังไว้ว่าจะเกิดน้ำแข็งอย่างรุนแรงในระดับสูงๆ ขึ้นไปได้ การเกิดเม็ดละอองน้ำที่เย็นกว่าจุดเยือกแข็งในเมฆคิวมูโลนิมบัสจะมีมากกว่าเมฆสเตรตัส ดังนั้นในเมฆคิวมูโลนิมบัสจึงเกิดน้ำแข็งได้มากกว่าและเร็วกว่าในเมฆสเตรตัส น้ำแข็งใสจะพบในเมฆคิวมูโลนิมบัสมากที่สุด

8.5 ฤดูกาล น้ำแข็งเกาะเครื่องบินเกิดขึ้นได้ทุกฤดูกาล แต่ส่วนมากเกิดในฤดูหนาวโดยเฉพาะประเทศในเขตอบอุ่น ซึ่งมีระดับเยือกแข็งในฤดูหนาวอยู่ต่ำกว่าฤดูร้อน ประเทศที่อยู่ในเขตละติจูดสูงเช่น แคนาดาหรืออลาสก้า จะเกิดน้ำแข็งเกาะเครื่องบินได้รุนแรงมากที่สุดในฤดูใบไม้ผลิและฤดูใบไม้ร่วง ในฤดูหนาวบริเวณแถบขั้วโลกอากาศจะเย็นเกินไปจนมีความชื้นไม่มากพอที่จะทำให้เกิดสภาวะน้ำแข็งเกาะเครื่องบิน และระบบเมฆส่วนใหญ่ก็จะเป็นเมฆแผ่นที่ประกอบด้วยผลึกน้ำแข็งเสียส่วนมาก

8.6 ลักษณะภูมิประเทศ (Terrain) บริเวณที่เป็นภูเขา มักเกิดน้ำแข็งเกาะเครื่องบินได้มากและรุนแรงกว่าภูมิประเทศแบบอื่น แนวเทือกเขาทำให้เกิดกระแสอากาศไหลขึ้นทางด้านรับลมซึ่งจะช่วยพยุงละอองน้ำไว้จำนวนมากพอที่จะกลั่นตัวและตกลงมาเป็นฝนบริเวณเทือกเขา การเคลื่อนตัวของระบบแนวปะทะผ่านแนวเทือกเขาทำให้เกิดการยกตัวของอากาศตามแนวปะทะควบคู่ไปกับการยกตัวตามแนวเทือกเขา มีผลทำให้เกิดบริเวณที่น้ำแข็งจับเกาะเครื่องบินได้อย่างรุนแรง บริเวณที่เกิดน้ำแข็งได้รุนแรงที่สุดคือบริเวณสันเขาและ ด้านรับลมของเทือกเขา ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ประมาณ 5,000 ฟุต เหนือยอดเขา และสูงขึ้นไปได้อีกเมื่อมีเมฆก้อนก่อตัวขึ้น



รูปที่ 3-4

9. สรุปความปลอดภัยอันเกิดจากการเกิดน้ำแข็งเกาะ

9.1 ข้อควรระวังขณะอยู่บนพื้นดิน

9.1.1 อย่าวิ่งขึ้นขณะที่มีน้ำค้างแข็งเกาะตามลำตัวเครื่องบิน

9.1.2 อย่าวิ่งขึ้นขณะที่มีหิมะเกาะตามลำตัวเครื่องบิน เพราะว่าหิมะที่ละลายแล้วอาจแข็งตัวเป็นน้ำแข็งอีกขณะที่บินสูงขึ้น

9.1.3 อย่าขับเครื่องบินที่ผิวพื้นผ่านหลุมบ่อที่มีน้ำ โดยใช้ความเร็วสูงในเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง เพราะจะทำให้หยดน้ำที่กระเด็นขึ้นมานั้นแข็งตัว และทำให้ระบบของล้อขัดข้องได้

9.1.4 อย่าวิ่งขึ้นโดยไม่ได้ทดลองส่วนบังคับต่างๆ ว่ามีน้ำแข็งเกาะหรือไม่

9.1.5 อย่าอุ่นเครื่องยนต์ในหมอกขณะที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง น้ำแข็งอาจจะเกาะตามใบพัดได้

9.1.6 อย่าวิ่งขึ้นขณะที่มีน้ำแข็งเกาะตามลำตัวหรือใบพัดของเครื่องบิน

9.1.7 อย่าวิ่งขึ้นขณะที่ทราบว่าจะมีการเกิดน้ำแข็งเกาะและเมื่อเครื่องบินนั้นไม่มีเครื่องมือในการทำลายน้ำแข็งอย่างทันสมัย

9.1.8 แม้ว่าเครื่องมือในการทำลายน้ำแข็งหรือป้องกันการเกิดน้ำแข็งจะดีและทันสมัยก็ตาม อย่าวิ่งขึ้นผ่านย่านที่ทราบว่าเกิดน้ำแข็ง

9.1.9 อย่าขับเครื่องบินขณะที่สนามบินปกคลุมไปด้วยน้ำแข็ง

9.1.10 อย่าใช้ห้ามล้อทันทีทันใดในเมื่อทางวิ่งที่มีน้ำแข็งเกาะอยู่ และเมื่อเครื่องบินลงแล้วให้ใช้ทางวิ่งที่ยาวที่สุด และก่อนลงให้วิทยุถามสภาพทางวิ่งด้วย

9.1.11 อย่าวิ่งขึ้นขณะที่มีหิมะเปียกบนทางวิ่ง

9.2 ข้อควรระวังขณะที่บินอยู่ในอากาศ

การเกิดน้ำแข็งเกาะเครื่องบินอาจเกิดได้เมื่อ

9.2.1 บินเข้าไปในเมฆที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 2 องศาเซลเซียส

9.2.2 บินผ่านฝนหรือหิมะขณะที่อุณหภูมิต่ำกว่า 2 องศาเซลเซียส

9.2.3 บินจากบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 2 องศาเซลเซียส เข้าไปในเมฆ

9.2.4 บินเข้าไปในบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 0°C หลังจากเพิ่งบินผ่านเมฆมาใหม่ๆ

9.2.5 บินผ่านเมฆเมื่อมีน้ำแข็งเกาะเครื่องบินเป็นบางส่วนแล้ว

พายุฟ้าคะนอง (Thunderstorm)

กล่าวนำ

พายุฟ้าคะนองเป็นระบบของสภาพอากาศเฉพาะถิ่น (Local weather system) ขนาดเป็น meso-scale (10-100 ตารางกิโลเมตร) เกิดจากการเจริญเติบโตของเมฆคิวมูลัส (Cumulus) จนเป็นเมฆคิวมูโลนิมบัส (Cumulonimbus) มีฟ้าแลบฟ้าร้องเกิดขึ้นร่วมด้วยเสมอ มีน้อยครั้งมากที่พายุฟ้าคะนองลูกเดียวจะมีความรุนแรงอยู่ได้ 2 ชั่วโมง

พายุฟ้าคะนองในเขตร้อนเกิดขึ้นทุกวันตลอดปี ในเขตอบอุ่นจะเกิดบ่อยที่สุดตั้งแต่ปลายฤดูหนาวถึงต้นฤดูใบไม้ผลิ เขตขั้วโลกเกิดขึ้นบ่อยที่สุดในฤดูร้อน

1. ปัจจัยที่จำเป็นในการก่อตัวของพายุฟ้าคะนอง

1.1 ชั้นของอากาศไม่ทรงตัว (Unstable air) หรือมีแนวโน้มที่จะไม่ทรงตัว (Potentially unstable) มีความหนาแน่นโดยปกติแล้วมีความหนาแน่นเป็น 10,000 ฟุตขึ้นไป ในกรณีที่รุนแรงจะเกิดขึ้นตั้งแต่ผิวพื้นถึงระดับโทรโพพอส

1.2 ต้องมีปริมาณไอน้ำเป็นจำนวนมาก (Plentiful supply of water vapor) โดยเฉพาะบริเวณใกล้ผิวพื้นที่ซึ่งเป็นจุดเริ่มแรกของกระแสอากาศที่ก่อให้เกิดเมฆ

1.3 ต้องมีแรงภายนอก เช่น การพาความร้อน (Heating from below) แนวลมพัดสอ (convergence) การเคลื่อนตัวของอากาศไปตามลาดภูเขา (Up lift over hill and mountain range) และการเคลื่อนตัวของอากาศตามลาดแนวปะทะอากาศ (Frontal ascent) มากระทำให้อากาศยกตัวขึ้นถึงระดับที่อากาศจะลอยตัวได้เองอย่างอิสระ

ปัจจัยที่เอื้ออำนวยให้พายุฟ้าคะนองมีความรุนแรงเพิ่มขึ้น ได้แก่

- มีกระแสไหลออกอย่างรุนแรงในบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ระดับสูง (Outflow at high level)
- อุณหภูมิของยอดเมฆต้องอยู่ในช่วง -20 ถึง -40 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเอื้ออำนวยให้เกิด ice pellets จำนวนมหาศาล
- ลมพัดตัดกันในทางตั้งภายในก้อนเมฆต้องมีกำลังอ่อน (Weak vertical wind shear) ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการก่อตัวในทางตั้งของแกนเมฆพายุฟ้าคะนองได้สูง (deep) มากยิ่งขึ้น

2. ชนิดของพายุฟ้าคะนอง (Type of Thunderstorm)

2.1 พายุฟ้าคะนองที่เกิดร่วมกับแนวปะทะอากาศ (Frontal Thunderstorm)

พายุฟ้าคะนองสามารถเกิดได้ในแนวปะทะอากาศทุกชนิด โดยการยกตัวของอากาศอุ่น, ขึ้นที่ทรงตัวไม่ได้บนพื้นลาดของแนวปะทะอากาศ ซึ่งจำแนกได้ดังนี้

2.1.1 พายุฟ้าคะนองที่เกิดร่วมกับแนวปะทะอากาศอุ่น เมฆที่พบส่วนใหญ่จะเป็นเมฆแผ่น (stratiform) พายุฟ้าคะนองชนิดนี้มีความรุนแรงน้อยกว่าที่เกิดในแนวปะทะอากาศแบบอื่นๆ เนื่องจากแนวปะทะอากาศชนิดนี้ มีความชันน้อยนั่นเอง

2.1.2 พายุฟ้าคะนองที่เกิดร่วมกับแนวปะทะอากาศเย็น มีความรุนแรงมากที่สุด ยกเว้นเมื่อเทียบกับที่เกิดในแนวพายุฟ้าคะนอง มักเกิดติดต่อกันเป็นแนว ซึ่งง่ายต่อการตรวจพบ มักจะเกิดได้บ่อยและรุนแรงที่สุดในช่วงเวลาบ่าย

2.1.3 พายุฟ้าคะนองที่เกิดร่วมกับแนวปะทะอากาศคงที่ เกิดได้บางโอกาส ซึ่งโดยปกติมีลักษณะการเกิดที่แผ่กระจายกระจายเป็นบริเวณกว้าง (Widely scatter)

2.1.4 พายุฟ้าคะนองที่เกิดร่วมกับแนวปะทะอากาศปิด มักมีรูปแบบการเกิดไม่ชัดเจน รวมทั้งถูกปิดบังโดยเมฆแผ่นและยากต่อการตรวจพบ จึงเป็นอันตรายต่อการบิน

2.2 พายุฟ้าคะนองที่เกิดในมวลอากาศ (Air mass Thunderstorm)

2.2.1 พายุฟ้าคะนองเนื่องจากการพาความร้อน (Convective Thunderstorm)

เกิดได้บ่อยเมื่อเทียบกับพายุฟ้าคะนองที่เกิดในมวลอากาศชนิดอื่น โดยเกิดได้ทั้งบนบกเหนือพื้นน้ำ ในพื้นที่เกือบทั้งหมดทั่วโลก และพบได้เป็นประจำในเขตละติจูดกลางในช่วงฤดูร้อน การยกตัวของมวลอากาศในพายุฟ้าคะนองประเภทนี้ มีสาเหตุจากการได้รับความร้อนจากชั้นอากาศระดับล่าง ซึ่งสัมผัสอยู่กับพื้นดินหรือพื้นน้ำที่อุ่น

โดยปกติเมฆก่อตัวทางตั้งจะก่อตัวเหนือพื้นดินในเวลาบ่าย เมื่อความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ผิวโลกมีค่ามากที่สุด ซึ่งเมฆคิวมูลัสจะก่อตัวขึ้นได้ในขณะที่อากาศมีการทรงตัวไม่ดี และมีปริมาณของไอน้ำมากพอ

พายุฟ้าคะนองชนิดนี้ยังสามารถเกิดได้ในบริเวณชายฝั่งในเวลาบ่าย เมื่ออากาศเย็นชื้นที่พัดเข้าสู่ฝั่งได้รับความร้อนจากพื้นดินที่อุ่นกว่า โดยเกิดพายุฟ้าคะนองเป็นแห่งๆ หรือกระจายเป็นบริเวณกว้างได้ ซึ่งจะสังเกตพบได้ง่ายจากลักษณะเมฆก่อตัวทางตั้ง (Towering) ฟ้าแลบ และมีฝนตก

2.2.2 พายุฟ้าคะนองเนื่องจากลักษณะภูมิประเทศ (Orographic Thunderstorm)

เกิดจากการยกตัวของอากาศอุ่นชื้นทรงตัวไม่ดีขึ้นไปตามลาดเขา สามารถก่อตัวได้อย่างรวดเร็วและกินบริเวณกว้าง ปกติจะทรงตัวอยู่นานหลายชั่วโมงด้านหน้าแนวรับลม การก่อตัวจะมีลักษณะเป็นเซลล์เดี่ยวเหนือยอดเขาหรือเป็นแนวของพายุตามความยาวแนวสันเขา ซึ่งถ้าภูเขามีความชันมากโอกาสเกิดลูกเห็บจะมีสูง

เป็นการยากที่จะสังเกตเห็นพายุฟ้าคะนองชนิดนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากทิศทางด้านรับลมของภูเขา เนื่องจากถูกเมฆแผ่นปกคลุมและปิดบังอยู่ อย่างไรก็ตามการตรวจพบจะกระทำได้ง่ายกว่าในทิศทางจากด้านหลังลม

ไม่แนะนำให้บินผ่านเข้าไปในส่วนล่างของพายุฟ้าคะนองชนิดนี้ เนื่องจากเป็นบริเวณของยอดเขาและสันเขาถูกซ่อนอยู่โดยการปกคลุมของเมฆ

2.2.3 พายุฟ้าคะนองที่เกิดระดับสูง (High level Thunderstorm)

ในเดือนที่เป็นช่วงหน้าร้อน พายุฟ้าคะนองมักเกิดได้บ่อยในเวลากลางคืน โดยไม่มีผลเกี่ยวเนื่องมาจากแนวปะทะอากาศที่ผิวพื้น ปกติจะเกิดในระดับสูงเนื่องมาจากการทรงตัวไม่ดีของอากาศ ซึ่งเป็นผลของการเย็นตัวลงจากการแผ่รังสีความร้อนที่ส่วนบนของชั้นอากาศชั้น และทรงตัวไม่ดีอย่างมีเงื่อนไข (Conditionally unstable) เพราะว่าพายุฟ้าคะนองชนิดนี้มีความรุนแรงน้อย และเกิดในระดับสูง ทำให้การบินที่ได้รับระดับฐานเมฆสามารถทำได้อย่างปลอดภัย ส่วนการบินที่ระดับเหนือขึ้นไป อาจกระทำได้ในบริเวณระหว่าง ยอดของเมฆ ซึ่งสามารถมองเห็นได้จากแสงสว่างของการเกิดฟ้าแลบ

พายุฟ้าคะนองในระดับสูงที่เกิดได้บ่อยในฤดูร้อนอีกชนิดหนึ่ง เกิดจากการเคลื่อนตัวเข้ามาซ้อนทับของอากาศเย็นด้านบนเหนืออากาศอุ่นขึ้นด้านล่าง พบได้บ่อยในเวลากลางคืนมากกว่าเวลากลางวัน โดยมีปัจจัยช่วยเสริมจากการแผ่รังสีออกของความร้อน พายุฟ้าคะนองชนิดนี้ไม่จำเป็นต้องถูกจัดอยู่ในพายุฟ้าคะนองที่เกิดระดับสูง เนื่องจากสามารถเกิดได้จากการเคลื่อนตัวเข้ามาซ้อนทับของอากาศเย็นในระดับบน ในขบวนการของพายุฟ้าคะนองเนื่องจากการพาความร้อน

2.3 แนวพายุฟ้าคะนอง (Squall line)

ลักษณะการเกิดเป็นแนวแคบๆ ในบริเวณที่ไม่มีแนวปะทะอากาศ แนวพายุฟ้าคะนองก่อตัวด้านหน้าของแนวเคลื่อนที่แนวปะทะอากาศเย็น 50-300 ไมล์ และอาจเกิดขึ้นได้แม้จะไม่มีแนวปะทะอากาศร่วมด้วย แนวของการเกิดอาจยาวจนยากที่จะบินอ้อม และกว้างหรือรุนแรงเกินกว่าที่จะสามารถบินผ่านได้อย่างปลอดภัย โดยทั่วไปแล้วจะเกิดได้เร็วและรุนแรงกว่าพายุฟ้าคะนองที่เกิดร่วมกับแนวปะทะอากาศเย็น สภาวะที่อันตรายที่สุดในพายุฟ้าคะนองชนิดนี้ได้แก่ การเกิดลูกเห็บและลมพัดอย่างรุนแรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเกิดทอร์นาโด (tornado)

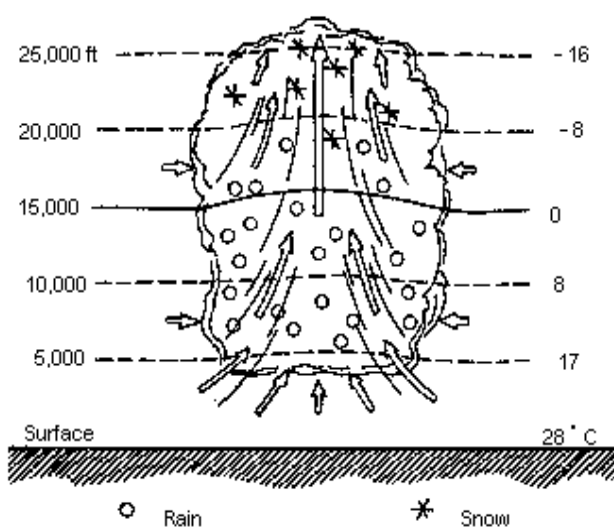
3. วงรอบของพายุฟ้าคะนอง (Life - cycle)

จำแนกได้ 3 ขั้นตอน คือ ขั้นก่อตัว ขั้นเจริญเติบโตเต็มที่ และขั้นสลายตัว โดยที่ช่วงของการเปลี่ยนแปลงไปสู่แต่ละขั้นตอน ยากที่จะสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน พายุฟ้าคะนองอาจเกิดเป็นเซลล์เดี่ยว ซึ่งมักเกิดในระยะเวลาอันสั้น หรือประกอบด้วยกลุ่มของเซลล์ซึ่งอยู่ในขั้นการเกิดที่แตกต่างกัน โดยมีวงจรของการเกิดจนกระทั่งถึงการสลายตัว กินเวลาตั้งแต่ 20 นาทีจนถึง 3 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับจำนวนและขั้นการเกิดของเซลล์ในพายุ

3.1 ขั้นก่อตัว (Cumulus stage or building stage)

ถึงแม้ว่าเมฆคิวมูลัสส่วนใหญ่จะไม่พัฒนาไปเป็นพายุฟ้าคะนอง แต่พายุฟ้าคะนองจะมีจุดกำเนิดมาจากเมฆคิวมูลัสเสมอ รูปแบบที่สำคัญที่เกิดในขั้นนี้ก็คือ กระแสอากาศไหลขึ้น (Updraft) รูปที่ 4-1 ซึ่งสามารถพบได้ตั้งแต่ใกล้ผิวพื้นไปจนถึงหลายพันฟุตเหนือยอดเมฆ กระแสอากาศไหลขึ้นที่รุนแรงที่สุดจะเกิดที่ระดับสูงขึ้นไปในช่วงปลายของขั้นตอนนี้ ซึ่งอาจสูงถึง 3,000 ฟุตต่อนาทีหรือมากกว่านั้น

เมื่อมีปัจจัยที่ทำให้เมฆเริ่มก่อตัวขึ้นแล้ว โดยพลังงานจากการคายความร้อนแฝงของการกลั่นตัว และการระเหิดกลับของไอน้ำ จะทำให้เมฆเติบโตมากยิ่งขึ้น



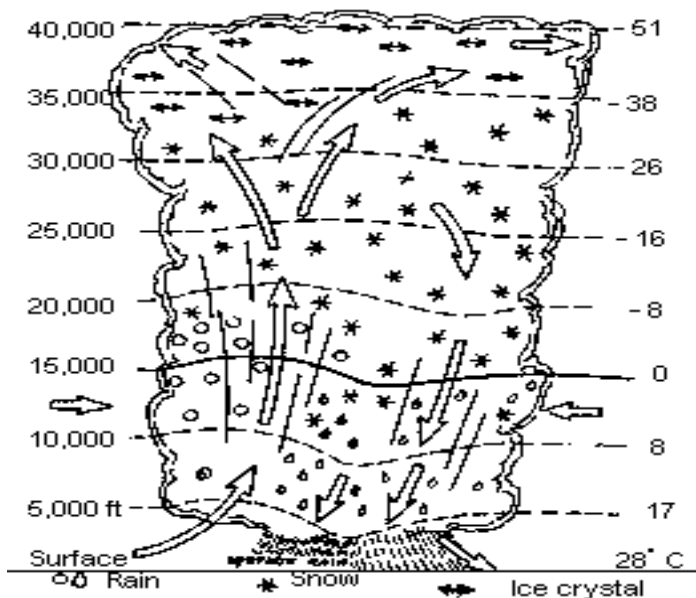
ในระยะเริ่มแรก หยดละอองน้ำมีขนาดเล็กมาก แต่จะโตเป็นเม็ดฝนเมื่อเมฆเพิ่มความหนาแน่นขึ้นในทางตั้ง ในส่วนบนของเมฆประกอบด้วยผลึกหิมะและละอองน้ำแข็ง แม้กระนั้นหยดละอองน้ำยังมีสภาพเป็นของเหลวในกระแสอากาศไหลขึ้นแม้ที่ความสูงเหนือระดับเยือกแข็ง (Freezing level) ในพายุบางลูกสูงถึง 40,000 ฟุต ไม่ปรากฏการตกของเม็ดฝนในขั้นตอนนี้ เนื่องจากถูกพัดพาขึ้นสู่ระดับบน หรือถูกพายุเอาไว้โดยกระแสอากาศไหลขึ้น

รูปที่ 4-1

3.2 ขั้นเจริญเติบโตเต็มที่ (Mature stage)

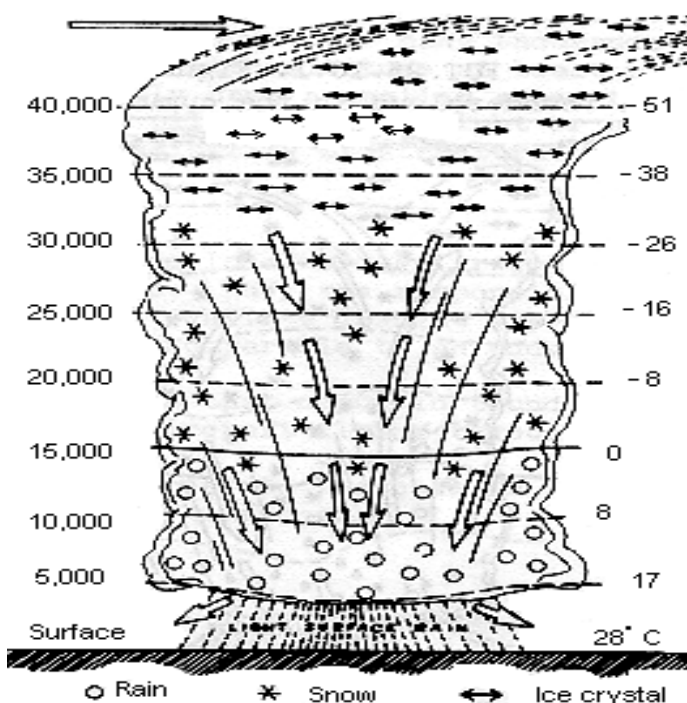
เมื่อเริ่มมีการตกของฝนและลูกเห็บจากฐานเมฆ แสดงถึงจุดเริ่มต้นของการเกิดกระแสอากาศไหลลง (Downdraft) และพายุฟ้าคะนองได้เข้าสู่ขั้นตอนการเจริญเติบโตเต็มที่ ขนาดของเม็ดฝนและผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่และหนักเกินกว่าจะถูกพองไว้โดยกระแสอากาศไหลขึ้น โดยเฉลี่ยแล้วในขั้นนี้พายุจะมีความสูงประมาณ 25,000 ฟุต รูปที่ 4-2 และอาจจะสูงเพียง 12,000 ฟุตในเขตละติจูดสูง

เมื่อเริ่มมีการตกของเม็ดฝน อากาศรอบๆ จะเริ่มมีการจมตัวลง และเนื่องจากมวลอากาศนี้มีการทรงตัวไม่ดี อากาศเย็นที่จมตัวลงจะมีความเร็วเพิ่มมากขึ้น จนเป็นกระแสอากาศไหลลงซึ่งอาจมีความเร็วสูงถึง 2,500 ฟุตต่อวินาที และจะแผ่ขยายออกไปในแนวราบเมื่อไหลลงใกล้พื้นดิน แนวขอบหน้าของกระแสอากาศ ที่เย็นและลมกระโชกที่รุนแรง ซึ่งเกิดบริเวณผิวพื้นนี้เรียกว่า Gust front



ในระยะแรกของขั้นนี้กระแสอากาศไหลขึ้นที่ยังคง อยู่ จะมีความเร็วเพิ่มมากขึ้น บางครั้งมากกว่า 6,000 ฟุตต่อวินาที กระแสอากาศไหลขึ้นและกระแสอากาศไหลลงที่มีบริเวณการเกิดใกล้เคียงกันเป็นสาเหตุของ Vertical shear และ กระแสอากาศปั่นป่วน (Turbulence) อย่างรุนแรง พายุฟ้าคะนองทุกลูกจะมีสภาพอากาศรุนแรงมากที่สุดในช่วงเวลานี้

รูปที่ 4-2



รูปที่ 4-3

3.3 ขั้นสลายตัว (Dissipating stage or Anvil stage)

ตลอดช่วงของขั้นเจริญเติบโตเต็มที่ กระแสอากาศไหลลงจะมีความแรงเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่กระแสอากาศไหลขึ้นลดความแรงลงเรื่อยๆ จนกระทั่งเมฆทั้งก้อนกลายเป็นบริเวณของการเกิดกระแสอากาศไหลลงทั้งหมด เนื่องจากกระแสอากาศไหลขึ้นเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการกลั่นตัวและคายพลังงานในรูปความร้อนแฝงออกมา พายุฟ้าคะนอง จึงเข้าสู่ขั้นตอนการสลายตัว ในขั้นตอนนี้ลมแรงในระดับสูงอาจจะพัดส่วนบนของเมฆออกไปโดยมีลักษณะเป็นรูปทั่ง (anvil) รูปที่ 4-3 อย่างไรก็ตามการปรากฏลักษณะเมฆเป็นรูปทั่ง ไม่ได้

เป็นสิ่งบ่งชี้ว่าพายุฟ้าคะนองเข้าสู่ขั้นตอนการสลายตัว สภาพอากาศที่รุนแรงสามารถเกิดได้ในพายุ หลายๆ ลูกที่มีลักษณะของเมฆรูปทั่งปรากฏชัดเจน พายุฟ้าคะนองที่รุนแรงมากบางครั้งไม่ได้มีรูปแบบของการสลายตัวตามที่กล่าวมานี้ ถ้าหากความเร็วลมในทางระดับ (Horizontal wind) มีค่าเพิ่มขึ้นตามความสูง ขั้นตอนของการเจริญเติบโตเต็มที่จะใช้เวลานานมากขึ้น และแนวของการเกิดกระแสอากาศไหลขึ้นจะถูกทำให้เอียงไปจากแนวเดิมอย่างมาก ในสภาวะเช่นนี้หยาดน้ำฟ้าจะตกเฉพาะในบริเวณบางส่วนของกระแสอากาศไหลขึ้น หรือบางทีนอกบริเวณเมฆพายุฟ้าคะนอง ซึ่งทำให้กระแสอากาศไหลขึ้นสามารถเกิดต่อเนื่องจนกระทั่งพลังงานที่มีอยู่ถูกใช้จนหมด พายุฟ้าคะนองอาจจะสลายตัวได้ถึงแม้จะไม่ถูกแทนที่โดยกระแสอากาศไหลลง นอกจากนี้การตกของน้ำฟ้าในเมฆที่มีลักษณะเอียงเช่นนี้ ยังเป็นสาเหตุให้กระแสอากาศไหลลงเกิดได้นอกบริเวณของเมฆ

4. อันตรายจากพายุฟ้าคะนอง

4.1 กระแสอากาศปั่นป่วน สามารถพบได้เสมอในพายุฟ้าคะนอง ซึ่งมีผลทำให้เกิดความเสียหายกับเครื่องบิน และเป็นอันตรายต่อผู้โดยสารและลูกเรือ จุดที่เกิดรุนแรงมากที่สุดจะอยู่ระหว่างรอยต่อของกระแสอากาศไหลขึ้นและกระแสอากาศไหลลง กระแสอากาศปั่นป่วนยังสามารถเกิดได้ภายนอกเมฆออกไปไกลถึง 20 ไมล์ และหลายพันฟุตเหนือระดับเมฆ กระแสอากาศปั่นป่วนที่รุนแรงสามารถพบได้ในบริเวณคล้ายทั้ง 15-30 ได้ไกล 10 หรือ 15 ไมล์ เรียกว่า Gust front ถ้ากระแสอากาศไหลลงมีลักษณะการเกิดเป็นกลุ่มภายในพายุจะทำให้เกิด second หรือ third gust front ได้ ระหว่าง first gust และพายุฟ้าคะนองในบริเวณที่ Gust front ผ่านทิศทางลมเฉลี่ยในทางระดับสามารถเปลี่ยนได้ถึง 40% และความเร็วลมสามารถเพิ่มได้ถึง 50% ระหว่าง ผิวพื้นขึ้นไปถึงระดับ 1,500 ฟุต ดังนั้นลมที่ตรวจวัดได้ที่ผิวพื้นนั้น ไม่อาจใช้เป็นค่าประมาณของลมระดับต่ำๆ เหนือพื้นดินได้

เมฆม้วน (Roll Cloud) ที่พบบริเวณขอบหน้าของพายุ เป็นสิ่งบ่งชี้การเกิดกระแสอากาศปั่นป่วน ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนในพายุฟ้าคะนอง ที่เกิดร่วมกับแนวปะทะอากาศเย็น และแนวพายุฟ้าคะนอง รวมทั้งมีความรุนแรงอย่างมากด้วย

4.2 ลูกเห็บ (Hail)

ลูกเห็บเป็นสภาพอากาศที่อันตรายมากอีกอย่างหนึ่งสำหรับการบิน มักเกิดในช่วงขึ้นการเจริญเติบโตเต็มที่ซึ่งมีการไหลขึ้นอย่างรุนแรง (Strong updraft) ยิ่งพายุลูกใหญ่โอกาสเกิดลูกเห็บยิ่งมากตามไปด้วยโดยสามารถพบได้ที่ความสูงถึง 45,000 ฟุตภายนอกเมฆ โดยเฉพาะใต้บริเวณเมฆรูปทั่งของพายุฟ้าคะนองขนาดใหญ่ บางครั้งถูกลมพัดไปได้ไกลถึง 10 ไมล์จากพายุ ลูกเห็บสามารถเกิดได้ในพายุฟ้าคะนองลูกใดๆ ขนาดของลูกเห็บเพียงแค่ 1/2 ถึง 3/4 นิ้ว สามารถทำความเสียหายอย่างมากแก่อากาศยานภายในไม่กี่วินาที

4.3 การเกิดน้ำแข็ง (Icing)

สามารถเกิดได้เมื่ออุณหภูมิภายนอก (Free air temperature) อยู่ที่ 0 องศาเซลเซียสหรือต่ำกว่า โดยทั่วไปเกิดได้ในอุณหภูมิระหว่าง 0 ถึง -20 องศาเซลเซียส ซึ่งการเกิดที่รุนแรงที่สุดจะอยู่ช่วงอุณหภูมิ 0 ถึง -10 องศาเซลเซียส มักเกิดหนักที่สุดเหนือระดับเยือกแข็งเล็กน้อย เนื่องจากที่ระดับนี้เป็นบริเวณที่มีฝนตกหนักและกระแสอากาศปั่นป่วนอย่างรุนแรง จึงถือว่าเป็นระดับที่มีอันตรายมากที่สุดด้วย

5. ฟาแลบ (Lightning)

เกิดได้ทุกระดับในพายุฟ้าคะนอง แกนของการเกิดฟาแลบจะไม่ผ่านลงไปยังพื้นดิน แต่เป็นการเกิดระหว่างก้อนเมฆหรือภายในเมฆก้อนเดียวกัน อย่างไรก็ตามอันตรายจากฟ้าผ่าสามารถเกิดได้กับอากาศยานที่บินห่างจากเมฆหลายไมล์ ปรากฏการณ์ทางประจุไฟฟ้าที่เกิดจากพายุฟ้าคะนองยังสามารถเกิดได้ต่อเนื่อง ถึงแม้พายุฟ้าคะนองได้สลายตัวไปแล้ว ประจุไฟฟ้าอาจสะสมได้บนอากาศยานหลังจากบินผ่านเข้าไปในก้อนเมฆและบริเวณที่มีความหนาแน่นของน้ำฟ้า รวมไปถึง บินผ่านหิมะ, ผ่านฝน หรืออนุภาคขนาดเล็กเช่น ฝุ่นละออง, หมอกแดด และน้ำแข็ง ยิ่งอากาศยานมีขนาดใหญ่และบินเร็วมากเท่าใด จะมีโอกาสทำให้เกิดการกระทบที่ผิวลำตัวของอากาศยาน และเกิดการสะสมของประจุได้มากเท่านั้น อาจมีการทำปฏิกิริยากันระหว่างสนามไฟฟ้าของอากาศยานกับก้อนเมฆเป็นผลให้เกิดการคายประจุไฟฟ้าสถิตย์ออกมา ซึ่งโดยปกติสร้างความเสียหายไม่มากนักและมีผลทำให้เกิดการรบกวนระบบวงจรไฟฟ้าได้อีกด้วย

ฟ้าผ่าและผลของไฟฟ้าสถิตย์เป็นต้นเหตุของอากาศยานอุบัติเหตุ และอุบัติเหตุของกองทัพอากาศสหรัฐอเมริกาที่มีการรายงานที่เกิดจากสภาพอากาศ โดยทั่วไปอากาศยานทุกชนิดประเภทมักจะล่อแหลมต่อการถูกฟ้าผ่าและได้รับผลของไฟฟ้าสถิตย์ ซึ่งสามารถเกิดได้ถึงความสูงตั้งแต่ผิวพื้นจนถึงอย่างน้อย 43,000 ฟุต ฟ้าผ่าอากาศยานจะเกิดได้เมื่อทำการบินในสภาวะอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่างรวมกัน ต่อไปนี้

- ภายในช่วงอุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ของระดับเยือกแข็ง
- ภายใน ช่วงความหนาประมาณ 5,000 ฟุต ของระดับเยือกแข็ง
- บินเข้าไปในฝนหรือหิมะ
- บินเข้าไปในเมฆ
- ในบริเวณที่เกิดกระแสอากาศปั่นป่วน

พึงระลึกว่าฟ้าผ่าอากาศยานสามารถเกิดได้โดยไม่จำเป็นต้องมีสภาวะที่กล่าวมาทั้งหมดในเวลาเดียวกัน นอกจากก่อให้เกิดความเสียหายเล็กน้อยต่อลำตัวอากาศยานแล้ว ยังสามารถสร้างความเสียหายได้ต่อระบบไฟฟ้า, อุปกรณ์และเครื่องมือประกอบการบิน รวมทั้งเรดาร์บนอากาศยานได้อีกด้วย ไฟกระชากที่เกิดในระบบอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งเป็นผลของจากการถูกฟ้าผ่า เป็นสาเหตุให้การทำงานของระบบควบคุมและเครื่องวัดต่างๆ บนอากาศยาน

สำหรับสิ่งที่เป็นอันตรายอย่างยิ่งก็คือ การเกิดประกายไฟภายในถังเชื้อเพลิง โดยเฉพาะเมื่อมีส่วนผสมของไอน้ำมัน และอากาศในอัตราที่พอเหมาะขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิง โดยเฉพาะ JP-4 ค่อนข้างง่ายต่อการเกิดระเบิดเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่น

ส่วนผลกระทบต่อผู้ทำการในอากาศมีตั้งแต่สูญเสียการมองเห็นชั่วขณะ บางครั้งถึง 30 วินาที การสูญเสียการได้ยิน เนื่องจาก shock wave และเคยมีรายงานว่ามีการถูกประจุไฟฟ้าช็อต และเกิดการไหม้เกรียมตามร่างกายมาแล้ว

6. ลมวงช้าง (Tornado)

เป็นการหมุนอย่างรุนแรงของอากาศ มีลักษณะคล้ายวงช้างซึ่งทอดยาวออกมาจากเมฆคิวมูโลนิมบัส ถ้าไม่ถึงพื้นจะเรียกว่า funnel cloud และถ้าเกิดบนพื้นน้ำเรียกว่า water spout ปกติมีขนาดความกว้างเป็นร้อยๆ หลา ภายในเมฆวงช้างความเร็วของการหมุนอาจสูงถึง 300 ไมล์ต่อชั่วโมง ในขณะที่ความเร็วในการเคลื่อนตัวเฉลี่ยเพียงแค่ 40 นอต พายุวงช้างสามารถเกิดได้ในพายุฟ้าคะนองทั่วไป แต่จะพบบ่อยในพายุฟ้าคะนองที่เกิดร่วมกับแนวปะทะอากาศเย็นเคลื่อนที่เร็ว หรือในแนวพายุฟ้าคะนอง (Squall line)

ลักษณะที่มีการเกิดเป็นกลุ่มของลมวงช้าง สามารถพบได้ในส่วนของเมฆที่แผ่ขยายออกมาจากบริเวณของการเกิดฝนและฟ้าแลบไกลออกไปถึง 20 ไมล์ โดยอาจคงอยู่ตั้งแต่เพียงไม่กี่นาทีจนถึง 6 ชั่วโมง และก่อตัวในบริเวณส่วนด้านหลังซีกขวาของทิศทางการเคลื่อนที่ของพายุ กระแสอากาศหมุนวนของลมวงช้าง อาจถูกซ่อนอยู่ในเมฆคิวมูลัสซึ่งมองดูไม่น่ากลัวอะไร และหลบรอดพ้นจากการตรวจพบถ้าไม่ได้รับความเอาใจใส่ระมัดระวังจากผู้ทำการบินในอากาศ ลักษณะของการหมุนวนที่ฐานเมฆและมีการฟุ้งกระจายของฝุ่นที่พื้น อาจเป็นสัญญาณของการหมุนวนกระแสอากาศของลมวงช้างที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตา แต่สามารถทำให้เกิดความเสียหายอย่างรุนแรงต่ออากาศยานได้

ควรหลีกเลี่ยงการบินใต้แนวของเมฆที่แผ่ขยายออกจากพายุฟ้าคะนองที่รุนแรง หากเผลอบินเข้าไปในบริเวณดังกล่าวพึงสังเกตดูบริเวณของการฟุ้งกระจายของฝุ่น ควรออกไปให้พ้นจากบริเวณนั้นโดยเร็ว และขอการสนับสนุนจากรถตำรวจภาคพื้นถ้าเป็นไปได้

เรดาร์บนอากาศยานมีขีดจำกัดในการตรวจหาตำแหน่งของลมวงช้าง โดยจะบอกเฉพาะตำแหน่งบริเวณที่มีน้ำฟ้า หนาแน่น แต่ไม่สามารถแสดงตำแหน่งของการหมุนวนกระแสอากาศ เมื่ออากาศยานบินเข้าใกล้บริเวณพายุฟ้าคะนองพึงระลึกว่าเพียงการตรวจด้วยตาเปล่า และเรดาร์ในบริเวณแนวของเมฆคิวมูโลนิมบัสจะไม่สามารถบอกได้ว่า มีลมวงช้างในพายุฟ้าคะนองนั้นหรือไม่ ที่ควรระวังอย่างมากก็คือ ขณะลงจอด, ขณะบินขึ้น และขณะไต่ระดับขึ้นหรือลงในแนวของพายุฟ้าคะนอง (Squall line)

อันตรายจะยิ่งเพิ่มตามความสูงในเมฆ เนื่องจากการเกิดแนวลมพัดสอปในระดับบนภายในแนวของเมฆ (cloud line) ซึ่งสามารถสร้างความเสียหายต่อลำตัวอากาศยานได้ตั้งแต่เกิดรอยขีดข่วนเพียงเล็กน้อย หรือถึงขั้นเสียหายหนัก จนไม่สามารถบินต่อไปได้

7. ผลกระทบต่อเครื่องวัด

ความกดอากาศมักจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อพายุฟ้าคะนองเคลื่อนเข้ามาใกล้ และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อมีการผ่านของ Gust front เข้ามา จากนั้นจะกลับคืนสู่ปกติเมื่ออยู่ในพายุฟ้าคะนอง การเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของความกดอากาศดังกล่าว อาจทำให้เกิดความผิดพลาดต่อเครื่องวัดระยะสูง (altimeter) ซึ่งจะมีผลอย่างมากโดยเฉพาะเมื่อไม่ได้รับการปรับตั้งอย่างถูกต้องขณะกำลังร่อนลงจอด

8. ปรากฏการณ์ไฟฟ้าสถิตย์ที่เกิดจากน้ำฟ้า

ไฟฟ้าสถิตย์ที่เกิดจากน้ำฟ้าซึ่งรบกวนคลื่นวิทยุสื่อสาร จะเกิดการแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้าตรงส่วนที่มีลักษณะเป็นขอบโลหะ และตามเหลี่ยมมุมของลำตัวอากาศยานในขณะที่บิน มักพบได้บ่อยเมื่อบินเข้าไปในพื้นที่ ที่เกิดพายุฟ้าคะนอง และเมื่ออากาศยานผ่านเข้าไปในบริเวณที่มีความหนาแน่นของอนุภาคขนาดเล็กเช่น น้ำแข็ง, ผงฝุ่นและทราย โดยจะเกิดการสะสมของประจุไฟฟ้าสถิตย์บนลำตัวอากาศยานหรือในอากาศ ซึ่งเป็นสาเหตุ

สัญญาณรบกวนคลื่นวิทยุในช่วงคลื่นความถี่ต่ำ แต่อย่างไรก็ตามจะไม่เกิดการรบกวนของสัญญาณ ในช่วงคลื่นความถี่สูงๆ (UHF)

ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมบริเวณที่เกิดการคายและสะสมของประจุ จะสามารถมองเห็นได้เป็นแสงเรืองๆ ในเวลากลางคืนแต่จะไม่มีอันตราย เรียกว่า St'Elmo's fire ตามชื่อกลาสีเรือในทะเลเมดิเตอร์เรเนียน ผู้ค้นพบการเรืองแสงจากการคายประจุในลักษณะนี้นับยอดเสากระโดงเรือ

9. การปฏิบัติเพื่อลดอันตรายเมื่อบินในพายุฟ้าคะนอง

9.1 เมื่อใช้เส้นทางบินผ่านเข้าไปในพายุฟ้าคะนอง มีข้อควรคำนึงดังต่อไปนี้ ความสำคัญของภารกิจ, ประเภทของอากาศยานและสมรรถนะ, เรดาร์ที่ติดตั้งบนอากาศยานและสถานภาพเครื่อง, ประสบการณ์ของผู้ทำการในอากาศและขอบเขตความกว้างของพายุฟ้าคะนองในแนวตั้งและแนวนอน หนทางที่ดีที่สุดคือหลีกเลี่ยงการปฏิบัติภารกิจบริเวณที่มีพายุฟ้าคะนอง

แต่เมื่อมีความจำเป็นและไม่สามารถเลี่ยงได้ ให้ปฏิบัติตามข้อแนะนำ ดังนี้

9.1.1 ทำการตรวจด้วยเรดาร์ตรวจอากาศบนอากาศยานก่อนบินเข้าไปในพายุ และขอการสนับสนุนจากเรดาร์ภาคพื้น

9.1.2 เตรียมเครื่องให้พร้อมสำหรับการบินเข้าไปในพายุฟ้าคะนอง โดยการตรวจสอบอุปกรณ์ต่าง ๆ เปิดไฟส่องสว่างในห้องนักบิน เปิดเครื่องให้ความร้อนท่อ pitot ตรวจสอบสายรัดที่นั่งให้แน่นหนา และล็อกให้เรียบร้อย ปรับตั้งกำลังเครื่องยนต์เพื่อให้ได้ความเร็วตามกำหนด ซึ่งจะช่วยลดอันตรายจากแรงเค้นบนลำตัวอากาศยานมีค่าเกินขีดจำกัด และช่วยเพิ่มความสามารถในการบังคับอากาศยาน นอกจากนี้ควรเลือกเส้นทางบินผ่านเข้าไปในพายุฟ้าคะนองสั้นที่สุด

9.1.3 รักษากระะยะสูงให้คงที่ โดยเฉพาะเมื่อมีการเพิ่มของแรงเค้นเนื่องมาจากกระแสอากาศไหลขึ้น และกระแสอากาศไหลลง

9.1.4 อย่าบินใต้เมฆเซอร์รัส (Cirrus) ที่มีลักษณะเป็นรูปพังกี เนื่องจากเป็นบริเวณที่เกิดลูกเห็บอย่างรุนแรง

9.1.5 อย่าบินเข้าไปในพายุใกล้ระดับเยือกแข็ง โดยเฉพาะระหว่าง -8 ถึง 8 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีสภาพอากาศเลวที่สุด

9.1.6 หลังบินผ่านพายุแล้ว หลีกเลี่ยงการแสดงท่าทางและบังคับเลี้ยวต่างๆ โดยเฉพาะอย่าบินย้อนเข้าไปในพายุ เพราะเป็นการเพิ่มแรงเค้นบนลำตัวอากาศยาน และนำไปสู่อาการลวงหล่น

9.1.7 เมื่อทัศนวิสัยเข้าสู่สภาวะปกติควรส่ง PIREP ให้กับ PMSV (Pilot metro service) หรือศูนย์ควบคุมที่สังกัด และเมื่อได้รับ PIREP จากผู้อื่น ต้องตระหนักว่าลักษณะของพายุสามารถมีการเปลี่ยนแปลงได้ในเวลาไม่ถึง 10 นาที

9.2 การลดความเสี่ยงจากประจุไฟฟ้า มีข้อที่ควรคำนึง ดังนี้

9.2.1 หลีกเลี่ยงการบินเข้าไปในเมฆเซอร์รัสที่หนา ซึ่งเคยเป็นบริเวณที่มีการเกิดพายุฟ้าคะนองปรากฏทางประจุไฟฟ้าอาจยังคงมีอยู่ ถึงแม้พายุฟ้าคะนองได้สลายตัวแล้ว

9.2.2 หลีกเลี่ยงเส้นทางบิน ที่ใช้เวลานานในพายุฟ้าคะนอง หรือในเมฆ

9.2.3 ใช้เส้นทางบินที่ผ่านระดับเยือกแข็งได้เร็วที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขณะไต่ระดับขึ้น หรือลง เนื่องจากฟ้าผ่าจะเกิดมากที่สุดบริเวณภายใน 8 องศาเซลเซียสของระดับเยือกแข็ง ให้ไต่ระดับโดยทำมุมกับแนวระดับมากที่สุดเท่าที่จะทำได้

9.2.4 ฟ้าสามารถผ่าอากาศยานที่บินเกาะหมู่ได้หลายๆ ลำในเวลาเดียวกัน ดังนั้นขณะบินเกาะหมู่ให้แยกตัวออกห่างกัน หรือใช้การตรวจเรดาร์บนอากาศยาน เมื่อเข้าสู่บริเวณที่มีโอกาสฟ้าผ่าได้สูง

9.3 การลดความเสี่ยงจากพายุ ในกรณีที่ไม่สามารถบินอ้อมพายุได้หนทางปฏิบัติ 2 ประการที่ทำได้ ได้แก่ บินย้อนกลับไปลงสนามบินที่ปลอดภัยจากพายุ และรอจนกระทั่งพายุสงบ หรืออีกหนทางคือ บินฝ่าเข้าไปในพายุ เมื่อมีความจำเป็นจริงๆ เพื่อผลของภารกิจ ซึ่งเป็นทางเลือกสุดท้าย โดยถามตัวเองว่าการเสี่ยงต่อการสูญเสียอากาศยานและชีวิตลูกเรือ จะมีความคุ้มค่ามากแค่ไหนในการที่จะบินฝ่าเข้าไปในพายุฟ้าคะนอง

9.3.1 การบินให้ปลอดภัยในพายุ หนทางปฏิบัติเพื่อให้เกิดความปลอดภัยขึ้นอยู่กับข้อพิจารณาหลายประการซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป ดังนั้นในขณะที่กำลังบินเข้าไปใกล้พายุ ทำจิตใจให้เป็นปกติ วิเคราะห์สถานการณ์อย่างรอบคอบในการเลือกหนทางปฏิบัติที่เหมาะสม เพื่อที่จะได้ไม่ต้องมาพะวงในภายหลัง

9.3.2 ประเมินสถานการณ์ ในการประเมินสถานการณ์จำเป็นต้องวิเคราะห์ลักษณะภูมิประเทศ ความสูงของฐานและยอดของพายุ จำนวนและตำแหน่งของพายุแต่ละลูกในพื้นที่ ขนาดและความรุนแรงของพายุ ทิศทางและความเร็วที่พายุเคลื่อนที่ ตำแหน่งของสนามบินปลายทางและสนามบินสำรอง และประเภทของอากาศยานที่ทำการบิน รวมทั้งเพดานบิน และพิสัยของอากาศยานนั้นๆ

9.3.3 ข้อควรปฏิบัติเมื่อต้องการบินให้อยู่เหนือพายุ ให้เพิ่มระยะสูงของอากาศยานก่อนที่จะเข้าไปในบริเวณของพายุ เพื่อให้อากาศยานอยู่ด้านบนของพายุ ซึ่งจะช่วยให้สามารถมองเห็นและเลือกเส้นทางบินที่ปลอดภัยได้ โดยควรเพิ่มระยะสูงจากยอดเมฆ 1,000 ฟุต ต่อความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 10 นอต ที่ระดับยอดเมฆอย่างใดก็ได้ ไม่มีการรับประกันว่าการบินที่ระยะสูงดังกล่าวจะปลอดภัยจากพายุ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉพาะเมื่อพายุอยู่ในขั้นกำลังเจริญเติบโต (Developing stage) และมีการก่อตัวในทางตั้งอย่างรวดเร็ว

9.3.4 ระยะสูงของอากาศยาน ระยะสูงที่ปลอดภัยในการบินเหนือพายุ จะมีค่าขึ้นอยู่กับฤดูกาล และเส้นละติจูดที่บิน ในเขตละติจูดสูง (เหนือเส้น 60 องศาเหนือ) ความสูงแค่ 25,000 ฟุต ก็ถือว่าเพียงพอแล้ว แต่พึงระลึกว่าพายุที่มีความสูง 25,000 ฟุต ในเขตละติจูดสูงมีความรุนแรงเทียบได้กับพายุที่มียอดสูง 50,000 ฟุต ในบริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตร ซึ่งความสูงของพายุในเขตร้อนนี้บางครั้งอาจสูงกว่าเพดานบินของอากาศยานที่บินอยู่ได้

9.3.5 การเลือกเส้นทางบิน ในกรณีบินเข้าไปในพายุโดยไม่ตั้งใจ อย่าบินย้อนกลับเป็นอันขาด เพราะเป็นการกลับเข้าไปสู่สถานะอันตรายซ้ำอีกครั้งหนึ่ง พยายามรักษาเส้นทางบินเดิม ถ้าเป็นไปได้ใช้เรดาร์บนเครื่องตรวจหาบริเวณที่พายุมีความรุนแรงน้อยที่สุด สิ่งที่ต้องระวังก็คือ บริเวณที่มีน้ำฟ้าหนาแน่น คลื่นเรดาร์จะถูกดูดกลืนมากกว่าบริเวณอื่น อาจทำให้เข้าใจผิดว่าเป็นบริเวณที่ปลอดภัย ความจริงแล้วเป็นบริเวณที่อันตรายมากที่สุด

9.3.6 ข้อแนะนำขณะบินในพายุฟ้าคะนอง

1) ปรับตั้งความเร็วที่เหมาะสมสำหรับอากาศยานในการบินเข้ากระแสนอากาศปั่นป่วนก่อนที่จะบินฝ่าเข้าไปในพายุ

2) เมื่อเกิดฟ้าแลบทำให้มองไม่เห็นชั่วขณะ ให้เปิดไฟห้องนักบินให้สว่างเต็มที่ สายตาควรอยู่กับเครื่องวัดประกอบการบินตลอดเวลา และปรับระดับของเก้าอี้ให้ต่ำลงหากจำเป็น

3) เมื่อเห็นการเรืองแสงจากประกายไฟบนกระจกด้านหน้า บนปีก หรือบนส่วนผิวด้านนอกของเครื่องยนต์ ให้ลดความเร็วของอากาศยานลง ประกายไฟก็จะหายไปเอง ซึ่งประกายไฟนี้แม้ไม่เป็นอันตรายต่อการบินโดยตรง แต่จะไปรบกวนระบบสื่อสารของอากาศยานได้ นอกจากนี้ยังเป็นสัญญาณบอกถึงการสะสมของประจุไฟฟ้า และแนวโน้มที่จะเกิดฟ้าผ่าบนลำตัวอากาศยานได้

9.3.7 การหลีกเลี่ยงพายุ พายุฟ้าคะนองประเภทมวลอากาศและที่เกิดจากภูมิประเทศที่มีลักษณะการเกิดเป็นบางแห่งมักจะเกิดเฉพาะบริเวณ และควรที่จะบินอ้อม แม้จะต้องบินไกลและนานขึ้น แต่ก็เป็นหนทางที่ปลอดภัย เราสามารถบินหลบพายุโดยการหลบลงด้านล่าง ขึ้นบน หรือบินผ่านระหว่างระดับของพายุ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสถานการณ์ขณะนั้น นอกจากนี้เรายังจำเป็นต้องทราบทิศทาง การเคลื่อนตัวของพายุ และบินอยู่ระหว่างศูนย์กลางของพายุในกรณีที่บินแนวพายุฟ้าคะนอง และบินทำมุมกับแนวพายุให้มากที่สุด สำหรับกรณีที่บินเซลล์เดียวควรบินตามทิศทางลมของพายุ เนื่องจากพายุส่วนใหญ่หมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาในซีกโลกเหนือ เช่น ถ้ากำลังบินไปทางทิศตะวันออกให้บินอ้อมพายุไปทางทิศใต้ และถ้าบินไปทางทิศตะวันตกให้บินอ้อมพายุไปทางทิศเหนือ นั่นคือให้บินอ้อมไปทางขวาของพายุ ในการบินอ้อมพายุควรเผื่อระยะห่างสำหรับการเคลื่อนตัวของพายุเอาไว้ด้วย

9.3.7.1 ในขณะที่บินอยู่ระดับกลางของพายุ พยายามบินไปยังบริเวณที่มองเห็นท้องฟ้าหรือมองเห็นจุดสว่างบนก้อนเมฆ แม้ว่าจะทำให้ต้องเปลี่ยนเส้นทางบินไปบ้าง แต่เป็นการหลีกเลี่ยงบริเวณศูนย์กลางของพายุ การบินในบริเวณดังกล่าวทำให้สามารถมองเห็นบริเวณที่เมฆก่อตัวในพายุทั้งลูกได้

9.3.7.2 เมื่อบินผ่านเข้าไปในพายุแล้ว และเมฆที่ปกคลุมได้ปิดบังทิศทาง การเคลื่อนตัวของอากาศยาน จำเป็นต้องบินโดยใช้เครื่องวัดประกอบการบิน อย่าเปลี่ยนเส้นทางบิน ให้บินต่อไปโดยใช้เส้นทางบินเดิม และอย่าเปลี่ยนเส้นทางบินเมื่อพบกับกระแสอากาศปั่นป่วน ฝน หรือลูกเห็บ เพราะอาจทำให้ บินกลับเข้าไปสู่สภาพอากาศรุนแรงอีกครั้งได้

9.3.8 การบินใต้ฐานของพายุ เมื่อบินในภูมิประเทศที่ราบและอยู่ในที่โล่ง การบินใต้ฐานของพายุดูเหมือนว่าจะเป็นการหลีกเลี่ยงพายุที่ง่ายที่สุด แต่เป็นวิธีที่อันตรายมากที่สุด เนื่องจากอาจได้รับอันตรายจากกระแสอากาศไหลลง, Microburst, ลมพัดตัดกัน, น้ำแข็ง และลูกเห็บ การที่นักบินมีความเข้าใจและคุ้นเคยกับการไหลของกระแสอากาศในพายุมีความจำเป็น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องเผชิญกับกระแสอากาศไหลขึ้นและกระแสอากาศไหลลง

ในกรณีที่เชื้อเพลิงเหลือน้อยหรืออากาศยานมีเพดานบินต่ำ การบินใต้ฐานของพายุจะเป็นหนทางเดียวที่สามารถกระทำได้อีกหากสนามบินที่หมายอยู่อีกด้านหนึ่งของพายุ แต่เป็นหนทางที่ไม่ปลอดภัยเมื่อบินในภูมิประเทศที่เป็นหุบเขา

9.3.9 การบินเหนือยอดของพายุ ถ้าเป็นไปได้ให้บินเหนือยอดของเมฆพายุฟ้าคะนอง หรือบินระหว่างแนวยอดเมฆ ในการเลือกปฏิบัติวิธีดังกล่าว นักบินควรมีความมั่นใจในอากาศยานที่บิน, มั่นใจในความรู้เกี่ยวกับพายุ และต้องมั่นใจในตัวเอง จำไว้ว่าต้องรักษาระยะห่างโดยเพิ่มความสูงอย่างน้อย 1,000 ฟุต ต่อการเพิ่มความเร็วมหาทุกๆ 10 นอต ที่ระดับยอดเมฆ แม้ว่าการบินเหนือยอดของพายุมีความปลอดภัยมากกว่าการบินใต้ฐานของมัน แต่ระยะสูงดังกล่าวอาจมีค่าสูงกว่าเพดานบินของอากาศยานได้

9.3.9.1 การบินให้ปลอดภัยในพายุ จำเป็นต้องทราบชั้นความรุนแรงของพายุ ทิศทางการเคลื่อนที่ นอกจากนี้ยังต้องแน่ใจว่ามีเชื้อเพลิงเพียงพอ และอากาศยานมีพีดานบินที่สูงพอในการบิน หลบพายุ ซึ่งพายุบางลูกมียอดสูงถึง 60,000 ฟุต ในเขตละติจูดกลาง และในเขตใกล้เส้นศูนย์สูตร

9.3.9.2 ในการบินบริเวณใกล้ยอดเมฆพายุฟ้าคะนอง ยิ่งบินสูงมากเท่าไรโอกาสที่จะพบกับกระแสอากาศปั่นป่วนยิ่งน้อยลงมากเท่านั้น ยอดเมฆรูปทรงแท่งเกิดจากการที่กระแสลมกรดพัดยอดเมฆออกไปตาม ทิศทางลม ซึ่งลมที่ระดับนี้จะรุนแรงมากสามารถพัดพาลูกเห็บไปได้ไกลถึง 20 ไมล์ ในอากาศโปร่งใส หลีกเลี่ยงการ บินข้างใน, ด้านล่าง หรือด้านใต้ลมของยอดเมฆรูปทรงแท่ง เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีโอกาสพบพายุลูกเห็บได้มากที่สุด

9.3.10 การบินเข้าไปในพายุ ถ้าไม่มีทางเลือกนอกจากต้องบินเข้าไปในพายุ พยายามหลีกเลี่ยง ศูนย์กลางของพายุ หรือบริเวณที่มีกระแสอากาศปั่นป่วนรุนแรง เลือกเส้นทางที่กระแสอากาศปั่นป่วนรุนแรงน้อย ที่สุด และบริเวณที่มีโอกาสเกิดลูกเห็บน้อยที่สุด ใช้ความเร็วที่เหมาะสมในการบินเข้ากระแสอากาศปั่นป่วน และ อย่าเปลี่ยนเส้นทางบิน

9.3.10.1 ข้อเสนอแนะเมื่อบินเข้าพายุ เมื่ออากาศยานบินเข้าไปในพายุจะพบกับกระแส อากาศไหลขึ้น-ลง เตรียมตัวให้พร้อมโดยเผื่อระยะสูงไว้ในกรณีที่ต้องเผชิญกับกระแสอากาศไหลลงเพื่อหลีกเลี่ยง การกระแทกพื้นด้านล่าง ระดับความสูงต่ำสุดในการบินเข้าไปในพายุควรมีค่า 4,000-6,000 ฟุต จากจุดสูงสุดของ พื้นที่ในบริเวณนั้น คู่มือการบินของอากาศยานแต่ละประเภทจะกำหนดค่าความเร็วที่เหมาะสมในการบินเข้า กระแสอากาศปั่นป่วน ถ้าไม่กำหนดเอาไว้ จากกฎที่ใช้กันประจำ ค่าที่เหมาะสมคือบินที่ความเร็ว 50 เปอร์เซ็นต์ ของความเร็วล่່วงหล่น

9.3.10.2 เมื่อบินอยู่ในพายุ ปล่อยให้อากาศยานเคลื่อนที่ขึ้นลงตามกระแสอากาศไหล ขึ้น-ลง และเพ่งความสนใจไปอยู่ที่การรักษาระยะสูงให้คงที่ ถ้ากำลังอยู่ในระบบ auto pilot ให้ยกเลิกส่วนที่ ควบคุมระดับความสูงและความเร็วของอากาศยาน เพราะนอกจากจะเป็นการเพิ่มการเคลื่อนที่ของอากาศยาน แล้วยังเป็นการเพิ่มแรงอัดที่กระทำบนลำตัวอากาศยานอีกด้วย

ขีดจำกัดของทัศนวิสัย (Restrictions to Visibility)

การที่มนุษย์เรามองเห็นวัตถุได้ใกล้เคียงไม่เท่ากัน มองเห็นสีของวัตถุแตกต่างกัน เนื่องจากวัตถุแต่ละชนิดมีคุณสมบัติในการกระจาย (scattering) การหักเห (refraction) การสะท้อน (reflection) และการดูดกลืน (absorption) ของแสงไม่เท่ากันนั่นเอง ในการมองเห็นวัตถุและสามารถระบุได้ว่าวัตถุนั้นคืออะไร ขึ้นอยู่กับมุมของการมองเห็น (Visual angle) จะต้องไม่น้อยกว่า 0.5 องศา โดยทำการทดลองเจาะรูแผ่นกระดาษให้มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.5 มิลลิเมตร แล้วส่องดูวัตถุให้สุดแขน ถ้าสามารถมองเห็นวัตถุได้เต็มรูแสดงว่าวัตถุนั้นมีมุมของการมองเห็น 0.5 องศาพอดี

ในทางอุตุนิยมวิทยากำหนดว่า ทัศนวิสัย หมายถึง ระยะไกลสุดที่สามารถมองเห็นและระบุเป้าหมายได้ในเวลากลางวัน หรือระยะไกลที่สุดที่สายตาสสามารถมองเห็นแสงไฟที่มีแสงไฟปกติได้ในเวลากลางคืน การตรวจค่าทัศนวิสัยจะกระทำเป็นลำดับสุดท้ายของการตรวจสอบอุตุนิยมวิทยาภายนอกสถาน

ทัศนวิสัยที่มีผลกระทบต่อการบิน แบ่งเป็น 3 อย่าง คือ

1. ทัศนวิสัยที่ผิวพื้นในทางระดับหรือทัศนวิสัยที่พื้นดิน (Horizontal surface Visibility or Ground Visibility) หมายถึง ความสามารถในการมองเห็นวัตถุด้วยตาเปล่าที่ระดับผิวพื้น
2. ทัศนวิสัยขณะบินหรือทัศนวิสัยอากาศสู่อากาศ (Flight Visibility or Air to Air Visibility) หมายถึง ความสามารถในการมองเห็นวัตถุด้วยตาเปล่าขณะอยู่ในอากาศ
3. ทัศนวิสัยในทางเฉียงหรือทัศนวิสัยตามแนวร่อน (Slant range or Pilot Visibility along glide path) หมายถึง ความสามารถในการมองเห็นวัตถุด้วยตาเปล่าในทางเฉียง

สำหรับทัศนวิสัยในทางระดับง่ายแก่การตรวจวัดและนิยมใช้กันอยู่ทุกวันนี้ มักจะรวมอยู่กับการรายงานข่าวอากาศ ส่วนทัศนวิสัยในแนวเฉียงและทัศนวิสัยอากาศสู่อากาศยังไม่มี การตรวจวัดที่แน่นอน ผู้พยากรณ์อากาศจำเป็นต้องอาศัยนักบินหรือผู้ปฏิบัติงานในอากาศเป็นผู้รายงานให้ทราบ แต่สำหรับทัศนวิสัยที่สามารถมองเห็นได้ดีที่สุดคือทัศนวิสัยในทางตั้ง (Vertical Visibility) ซึ่งสามารถมองเห็นได้มากกว่าทัศนวิสัยในทางระดับและทัศนวิสัยในทางเฉียง

ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าทัศนวิสัย

คือสิ่งที่ปิดบังการมองเห็นนั่นเอง ชนิดและความรุนแรงของสิ่งปิดบังจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ การทรงตัว (stability) ของมวลอากาศเป็นส่วนใหญ่ สำหรับอากาศที่มีการทรงตัวดี (stable) เหมาะที่จะทำให้เกิดหมอก และเมฆต่ำๆ หรือฝนปรอยๆ ซึ่งทำให้ทัศนวิสัยเสียไป นอกจากนี้หมอกแดดก็มักจะเกิดขึ้นใน อากาศที่มีการทรงตัวดีเช่นกัน ในทางตรงกันข้ามถ้าอากาศมีการทรงตัวไม่ดี (unstable) จะมีอากาศไหลขึ้นในทางตั้งซึ่งเป็นตัวการที่ทำให้หมอกสลายไป หรือยกตัวสูงขึ้นเป็นเมฆ ทำให้หมอกแดดและคว้นหายไปด้วย แต่พายุฝุ่นพายุหิมะ (Blowing dust, Blowing snow) และฝนหนักก็จะเกิดขึ้นมาแทนซึ่งเป็นสิ่งที่ทำให้ทัศนวิสัยเสียได้เช่นเดียวกัน มีอากาศยานเป็นจำนวนมากได้เกิดอุบัติเหตุอันเนื่องมาจากทัศนวิสัยต่ำ

ตัวการที่ทำให้ทัศนวิสัยเสีย แบ่งได้ดังนี้

- หมอก และหมอกบาง (fog and mist)
- เมฆ และน้ำฟ้า (cloud and precipitation)
- ละอองน้ำจากทะเล (Wind-blown spray from the sea)
- อนุภาคของน้ำมันในบรรยากาศ (Oil particles in the atmosphere)
- คว้นและฟ้าหลัว (smoke and haze)
- ฝุ่นละอองและทราย (dust and sand)
- อนุภาคเกลือ (Salt particles)

1. หมอก และหมอกบาง (Fog and Mist)

หมอก (Fog) หมายถึง ละอองน้ำเล็กๆ ที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ เกิดตั้งแต่ระดับผิวพื้นขึ้นไป ซึ่งโดยทั่วไปเป็นสาเหตุทำให้ทัศนวิสัยในทางระดับผิวพื้นลดลงต่ำกว่า 1,000 เมตร ถ้าทัศนวิสัยเท่ากับหรือมากกว่า 1,000 เมตร เรียกว่า หมอกบาง (mist)

1.1 การเกิดหมอก หมอกเกิดจากการกลั่นตัวของไอน้ำเป็นหยดน้ำ แล้วแขวนตัวลอยอยู่ในอากาศโดยอยู่ใกล้กับพื้นดินหรือสูงไม่เกิน 50 ฟุต ซึ่งมีการเกิดดังนี้

1.1.1 การเย็นลงของอากาศ คือการทำให้อุณหภูมิของอากาศลดลงเท่ากับอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ($T = T_d$) เช่น การเย็นลงโดยการแผ่รังสีออก (Radiation cooling) และการสัมผัสพื้นผิวที่เย็นกว่าโดยการนำ (Conduction) และการพา (Convection) โดยเฉพาะของไหล

1.1.2 การเพิ่มความชื้นให้กับอากาศ (Supply of humidity) เพื่อทำให้อุณหภูมิของจุดน้ำค้างสูงขึ้นเท่ากับอุณหภูมิของอากาศ เช่นการที่อากาศพัดผ่านน่านน้ำมาสู่พื้นที่ที่แห้งกว่าเพื่อเป็นการเพิ่มความชื้นให้ กับการระเหยของน้ำเข้าไปในอากาศ

1.2 การแบ่งหมอก หมอกแบ่งออกได้ดังนี้

1.2.1 หมอกที่เกิดจากการเย็นตัวของอากาศ (Cooling fog) โดยปกติมักจะเกิดภายในมวลอากาศ บางที่เรียกว่าหมอกในมวลอากาศ (Air-mass fog) และยังแบ่งย่อยออกไปอีกได้ดังนี้

1.2.1.1 หมอกที่เกิดจากการแผ่รังสี (Radiation fog) หมอกชนิดนี้เกิดขึ้นเนื่องจากผลของการเย็นลงในเวลากลางคืน (Nocturnal cooling) คือพื้นดินแผ่รังสีออกได้ดีกว่าอากาศ ทำให้พื้นดินเย็นลง อากาศที่สัมผัสกับพื้นดินจะเย็นลงด้วย จนไอน้ำเกิดการกลั่นตัวเป็นหมอก ในกรณีที่ลมสงบหรือลมอ่อน ความเร็วลมต่ำกว่า 5 นอต หมอกจะปกคลุมพื้นดินในระดับต่ำๆ เท่านั้น ถ้าความเร็วลมตั้งแต่ 5 นอต จะคลุกเคล้าให้ชั้นของอากาศเย็นหนากว่ากรณีแรก จะทำให้หมอกขยายปกคลุมสูงขึ้นไปอีก หมอกจะเกิดได้ดีจะต้องมีความชื้นสูง (High humidity) การแผ่รังสีของพื้นดินดี และท้องฟ้าต้องโปร่ง (Clear sky)

หมอกที่เกิดจากการแผ่รังสีความร้อน (Radiation fog) หรือเรียกว่าหมอกพื้นดิน (Ground fog) เวลาที่มีหมอกชนิดนี้เกิดขึ้นมักจะเกิดร่วมกับการเพิ่มอุณหภูมิตามระยะสูง (Temperature inversion) เสมอ สำหรับประเทศไทยมักจะเกิดในฤดูหนาว ถ้ามีการเพิ่มอุณหภูมิตามระยะสูงมาก เช่นในภาคเหนือ หมอกชนิดนี้จะเกิดได้ง่ายกว่าในภาคอื่นๆ

ถ้าในเวลากลางวันมีอากาศอุ่นขึ้นเคลื่อนตัวเข้ามา (Warm moist air advection) ปกคลุมบนพื้นดิน และเมื่อมีการแผ่รังสีความร้อนออก (Radiation cooling) ในเวลากลางคืน จนกระทั่งอุณหภูมิ ลดลงถึงจุดกลั่นตัว หมอกก็จะเกิดขึ้น หมอกชนิดนี้เรียกว่า หมอกที่เกิดจากการแผ่รังสีความร้อนโดยการที่อากาศ อุ่นไหลเข้ามา (Advection radiation fog)

1.2.1.2 หมอกที่เกิดจากอากาศไหลทับพื้นผิวที่เย็นกว่า (Advection fog) บนพื้นดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูหนาว เป็นการยากมากที่จะเห็นความแตกต่างของหมอกที่เกิดจากการแผ่รังสีความร้อน และหมอกที่เกิดจากอากาศไหลซ้อนทับพื้นผิวที่เย็นกว่า ครั้งแรกจะพบว่าหมอกที่เกิดบนพื้นดิน (Land fog) ทั้งหมดเกิดขึ้นเนื่องจากการไหลเข้ามาของอากาศอุ่น (advection) เสียก่อนและติดตามมาด้วยการแผ่รังสี ความร้อนออก ประการที่สองเพราะว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิประจำวันบนพื้นดินมีมาก ดังนั้นหมอกจึงเกิดใน ตอนกลางคืนและสลายตัวหลังจากดวงอาทิตย์ขึ้น บนพื้นทะเลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิประจำวันมีน้อย การเย็นลงในเวลากลางคืนก็มีน้อยแทบจะไม่ต้องกล่าวถึง ดังนั้นหมอกจึงเกิดจากการที่อากาศอุ่นไหลทับเข้ามา เท่านั้น

หมอกที่เกิดจากอากาศไหลทับพื้นผิวที่เย็นกว่านี้ เกิดจากการเคลื่อนที่ของอากาศในทาง ระดับ ในกรณีที่อากาศอุ่นเคลื่อนที่เข้าไปทับพื้นน้ำที่เย็นกว่า หมอกที่เกิดขึ้นจะหนามาก แม้ความเร็วลมจะสูงถึง 15 นอต ก็ตามเมื่อความเร็วลมมากกว่า 15 นอต ผลอันเนื่องมากระแสอากาศปั่นป่วนมักจะยกให้หมอก กลายเป็นเมฆสเตรตัส (Stratus)

หมอกที่เกิดจากอากาศไหลทับพื้นผิวที่เย็นกว่านี้ ในฤดูหนาวเกิดขึ้นเนื่องจากเมื่ออากาศ อุ่นและมีความชื้นมากจากพื้นน้ำไหลไปยังพื้นดินที่เย็นกว่า (Warm air advection) อากาศอุ่นและมีความชื้นทับ อยู่ข้างบนจะถูกทำให้เย็นลงอยู่เบื้องล่าง ผลก็คือทำให้เกิดหมอก หมอกที่เกิดบนพื้นดิน เช่นนี้เราเรียกว่า หมอกบก (Land fog)

ในฤดูร้อนพื้นน้ำที่เย็นกว่าพื้นดินจะทำให้เกิดหมอกขึ้น โดยที่อากาศอุ่นและชุ่มชื้นจาก พื้นดินไหลมาทับพื้นน้ำที่เย็นกว่า เกิดหมอกขึ้นในทะเล เราเรียกว่า หมอกทะเล (Sea fog) ถ้าอุณหภูมิของอากาศ อุ่นแตกต่างจากอุณหภูมิของน้ำมากๆ หมอกจะหนาตามไปด้วย ความเร็วลมที่จะทำให้เกิดหมอกทะเลนี้ไม่ จำเป็นจะต้องเป็นลมเบาๆ เหมือนกับหมอกพื้นดิน เพราะว่าพื้นน้ำมีแรงเสียดทานน้อยมาก บางครั้งหมอกชนิดนี้ เกิดขึ้นเมื่อความเร็วลมสูงถึง 26 นอต ก็มี แต่จะพบมากที่สุดคือความเร็วลมระหว่าง 4-13 นอต เมื่อหมอกทะเล เคลื่อนตัวเข้าหาฝั่งในเวลากลางวัน ซึ่งขณะนั้นพื้นดินกำลังร้อนอยู่จะทำให้หมอกสลายตัวเมื่อถึงพื้นดิน และ กลายเป็นเมฆสเตรตัสซึ่งจะพบมากในประเทศอังกฤษ

ในฤดูหนาวในเขตละติจูดกลาง มวลอากาศร้อนขึ้นจากเขตร้อนในละติจูดต่ำๆ หรือใกล้เขตร้อน เคลื่อนตัว ขึ้นไปในละติจูดสูงๆ ผ่านพื้นดินที่เย็นกว่าหรือที่มีหิมะปกคลุม ก็จะทำให้เกิดหมอกชนิดนี้ได้ตัวอย่างเช่นใน สหรัฐอเมริกา เมื่อมวลอากาศร้อนจากอ่าวเม็กซิโกเคลื่อนที่ไปทางเหนือ ผ่านหุบเขาตอนบนของแม่น้ำมิสซิสซิปปี ซึ่งมีอากาศหนาวเย็นและบางที่มีหิมะปกคลุมอยู่ อุณหภูมิของมวลอากาศร้อนขึ้นจะลดต่ำลงจนถึงอุณหภูมิจุด น้ำค้าง และกลั่นตัวเป็นหมอกเกิดขึ้นได้ เรียกว่าหมอกในมวลอากาศเขตร้อน (Tropical air fog) นอกจากนี้หมอก ยังเกิดขึ้นในทะเลที่มีกระแสน้ำอุ่นและกระแสน้ำเย็นไหลมาพบกัน เช่นหมอกที่เกิดขึ้นบริเวณ แกรนด์แบงค์ (Grand bank) นอกฝั่งเกาะนิวฟันด์แลนด์ (New foundland island)

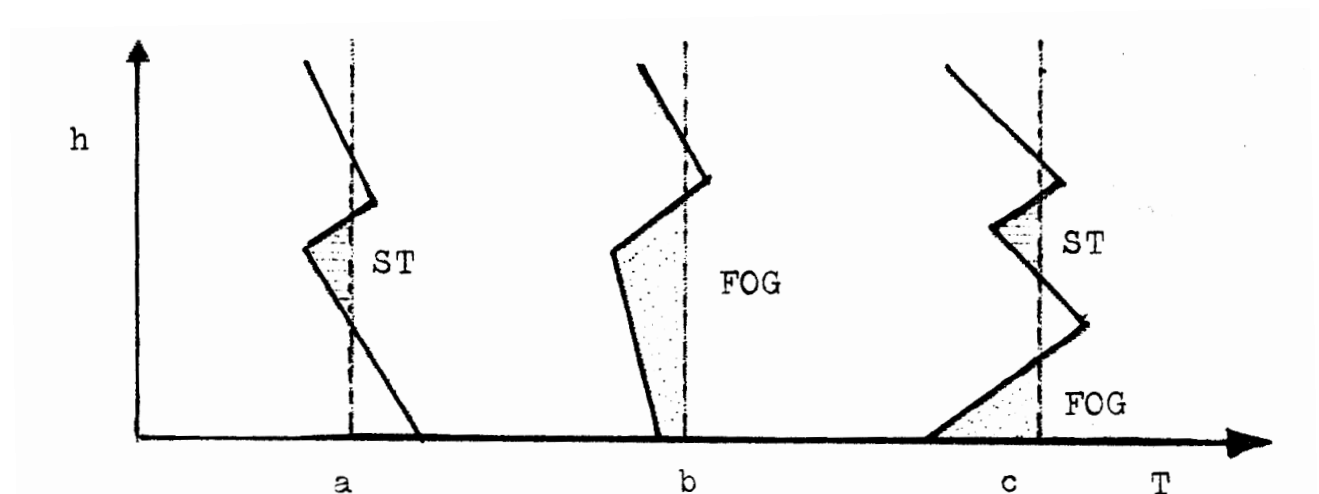
1.2.1.3 หมอกที่เกิดจากอากาศไหลขึ้นตามลาดเขา (Upslope fog or orographic fog) หมอกชนิดนี้จะเกิดขึ้นเมื่ออากาศมีการทรงตัวดีเคลื่อนที่ขึ้นไปตามลาดภูเขา อากาศจะเย็นตัวลงตามอะเดียเบติก (Adiabatic cooling) แล้วหมอกก็จะเกิดขึ้นเมื่ออากาศเย็นลงถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้าง แต่อากาศจะต้องมีความชื้นมาก หมอกชนิดนี้จะยังคงมีอยู่แม้ความเร็วลมจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ถ้าหากลมแรงมากจะทำให้หมอกยกตัวเป็นเมฆสเตรตัสหรือสเตรโตคิวมูลัส (Stratocumulus) ได้ ถ้าอากาศนั้นมีการทรงตัวไม่ดีแทนที่จะเกิดเป็นหมอกกลับจะมีเมฆก่อนเกิดขึ้นได้

1.2.1.4 หมอกที่เกิดจากการเพิ่มอุณหภูมิตามระยะสูงในบริเวณความกดอากาศสูง (High inversion fog) เป็นหมอกที่เกิดในฤดูหนาว ผลเนื่องมาจากการแผ่รังสีออกอย่างรุนแรง (Strong radiation) ถ้าอากาศเย็นที่จมตัวลงบริเวณความกดอากาศสูง (Anticyclone) นี้มีความลึกมาก ทำให้เกิดหมอกติดต่อกันตลอดทั้งวัน และอาจจะคงอยู่ได้ 2 - 3 วัน

1.2.2 หมอกที่เกิดจากการระเหย (Evaporation fog) เรียกว่า หมอกระเหย ซึ่งแบ่งได้ดังนี้

1.2.2.1 หมอกในแนวปะทะอากาศ (Frontal fog) หรือเรียกว่า หมอกฝน (Rain fog) เป็นหมอกที่เกิดจากการกลายเป็นไอ (Evaporation fog) เมื่อฝนตกผ่านชั้นของอากาศซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของเมฆฝน อากาศที่อยู่ติดกับเมฆฝนจึงอุ่น การกลายเป็นไอของเมฆฝนเป็นการเพิ่มไอน้ำให้กับอากาศ แล้วอากาศนี้จะปะปนกับอากาศเย็นรอบๆ เป็นผลทำให้อากาศมีไอน้ำสะสมจนกระทั่งอิ่มตัว (saturate) จากนั้นจึงเกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ (condensation) จึงทำให้เกิดหมอก หรือเมฆสเตรตัส ตามรูปที่ 5-1

จากรูปแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในทางตั้งของอากาศขณะที่ฝนตกลงมาจากจุด A เมฆสเตรตัสหรือหมอกจะเกิดขึ้นในระดับที่อุณหภูมิของอากาศเย็นกว่าอุณหภูมิของเมฆฝน



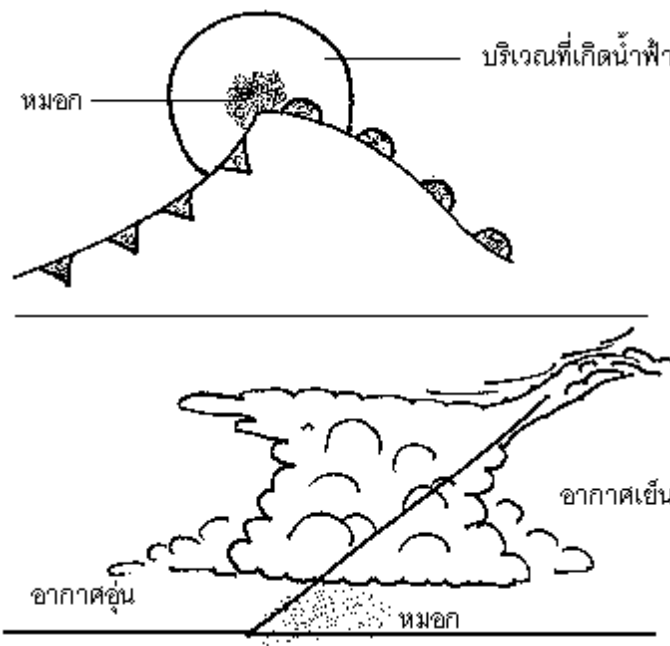
รูปที่ 5-1 หมอกในแนวปะทะอากาศหรือหมอกฝน (Frontal Fog or Rain Fog)

ปรากฏการณ์การเกิดหมอกชนิดนี้มักจะเกิดขึ้นเมื่อมีแนวปะทะอากาศ ในขณะที่มวลอากาศอุ่นชื้นทับอยู่มวลอากาศเย็นตามพื้นผิวแนวปะทะอากาศ (Frontal surface) ถ้าหากอากาศเย็นที่อยู่ใต้พื้นผิวแนวปะทะอากาศนั้นหนาแน่น ขณะที่ฝนตกผ่านอากาศเย็น ฝนจะเย็นลงก่อนจะตกถึงพื้น ในกรณีนี้เมฆสเตรตัสจะเกิดขึ้นใต้พื้นผิวแนวปะทะอากาศนั้น แต่จะไม่มีหมอก ดังนั้นหมอกในแนวปะทะอากาศจึงเกิดเฉพาะในอากาศเย็น ตรงใกล้ๆ กับแนวปะทะอากาศที่ติดกับผิวพื้น ดูรูปที่ 5-2 ถ้าลมแรงหมอกก็จะสลายตัวและยกตัวขึ้นเป็นเมฆสเตรตัส ดังนั้น

เมฆสเตรตัสจะปรากฏอยู่ใต้พื้นผิวแนวปะทะอากาศบ่อยที่สุด สิ่งที่จะช่วยทำให้เกิดหมอกชนิดนี้คือความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศเย็นกับอากาศอุ่นนั้นมีมาก และมีลมเบาๆ

หมอกในแนวปะทะอากาศเกิดขึ้นได้ทั้งในแนวปะทะอากาศเย็น และแนวปะทะอากาศอุ่น จึงเรียกว่า หมอกหลังแนวปะทะอากาศ (Post frontal fog) และหมอกหน้าแนวปะทะ (Prefrontal fog) ตามลำดับ แต่ที่รุนแรงที่สุดมักจะเกิดในแนวปะทะอากาศอุ่น แต่ในกรณีที่เกิดในแนวปะทะอากาศเย็นนั้น จะแผ่กระจายออกไปได้น้อยกว่า

มีหลายกรณีที่หมอกจะเกิดขึ้นช่วงหนึ่งเมื่อแนวปะทะอากาศผ่านการปะปนระหว่างมวลอากาศอุ่นและมวลอากาศเย็นในเสี้ยวของแนวปะทะสามารถทำให้เกิดหมอกได้ ถ้ามีลมเบาๆ และมวลอากาศทั้งสองเกือบมีไอน้ำอิ่มตัวอยู่แล้ว เมื่ออากาศได้รับความเย็นทันทีทันใดบนพื้นดินที่เปียกหรือชื้น พร้อมกับการผ่านของแนวปะทะอากาศเย็นอาจทำให้เกิดหมอกได้ช่วงหนึ่ง หมอกชนิดนี้บางที่เรียกว่า หมอกขณะแนวปะทะอากาศผ่าน (Front-passage fog)



รูปที่ 5-2 หมอกในแนวปะทะอากาศอุ่นหรือหมอกหน้าแนวปะทะอากาศ
(warm front fog or prefrontal fog)

1.2.2.2 หมอกไอน้ำ (Steam fog) โดยทั่วไปจะเกิดในเขตอบอุ่นระหว่างฤดูใบไม้ร่วงถึงต้นฤดูหนาว ในขณะที่น้ำยังคงอุ่นอยู่และอากาศเย็นจากพื้นดินเคลื่อนตัวมาซ้อนทับ หมอกชนิดนี้เป็นหมอกที่เกิดจากการไม่ทรงตัวของอากาศ (Unstable type fog) เมื่อมีการระเหยกลายเป็นไอน้ำอย่างหนาแน่นจากผิวน้ำเข้าสู่อากาศที่เย็นกว่า จึงเกิดการกลั่นตัวขึ้นอย่างรวดเร็วภายใต้ชั้นการเพิ่มอุณหภูมิตามระยะสูงเหนือผิวน้ำ โดยที่ขบวนการนี้อากาศจะต้องมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของน้ำมากๆ จึงมักจะเกิดการพาในทางตั้ง หมอกจะไม่สามารถเกิดได้นอกจากมีเงื่อนไขประกอบ ดังนี้

1. มีชั้นการเพิ่มอุณหภูมิตามระยะสูงในมวลของอากาศเย็นก่อนที่จะเคลื่อนเข้ามาปกคลุมเหนือผิวน้ำ
มิฉะนั้น Lapse rate จะเป็นลักษณะของการไม่ทรงตัว

2. ชั้นของอากาศจะต้องมีอุณหภูมิถึงจุดเยือกแข็งหรือต่ำกว่า เพื่อให้อากาศที่มีความชื้นอยู่เล็กน้อยนั้นเข้าสู่สภาพเกินจุดอิ่มตัว (Supersaturation) ได้ มิฉะนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นจากด้านล่างจะไปขัดขวางการเข้าสู่จุดอิ่มตัว

หมอกชนิดนี้มักจะเกิดบริเวณทะเลสาบและแม่น้ำในอาณาบริเวณรอบๆ หนาประมาณ 50-200 ฟุต ซึ่งเป็นอันตรายต่อการบิน เพราะว่าท่าอากาศยานหลายแห่งตั้งอยู่ใกล้แหล่งน้ำ

ในฤดูหนาวเขตที่ได้รับอิทธิพลของมวลอากาศจากขั้วโลกเหนือ (Arctic air) มักจะเกิดหมอกชนิดนี้ขึ้นมาก หมอกจะยกตัวขึ้นจากพื้นน้ำบางที่เรียกว่า ควันทะเล (Sea smoke) ในบริเวณดังกล่าวหมอกจะแผ่ขยายสูงขึ้นไปถึง 5,000 ฟุต ทำให้เกิดเมฆคิวมูลัส (Cumulus) ที่มีฐานอยู่ติดกับพื้นน้ำ (เป็นลักษณะเฉพาะที่เกิดขึ้นในบริเวณนี้)

เมื่ออุณหภูมิของอากาศต่ำกว่า -30 องศาเซลเซียส ไอน้ำในอากาศบางส่วนจะระเหิดกลับ (Deposition) เป็นผลึกน้ำแข็งโดยตรง ผลึกน้ำแข็งที่แขวนอยู่ในอากาศที่ติดกับผิวพื้นเรียกว่า หมอกที่กลายเป็นน้ำแข็ง (Ice fog) มักจะเกิดในแถบมหาสมุทรอาร์ติก เช่น รัฐอลาสก้าของสหรัฐอเมริกา และประเทศแคนาดา

เมื่ออุณหภูมิของอากาศเท่ากับ -35 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า หมอกที่กลายเป็นน้ำแข็งจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วตามบริเวณท่อไอเสียของอากาศยานหรือเครื่องยนต์อื่นๆ หมอกชนิดนี้อาจจะเกิดขึ้นได้ตามสนามบินเมื่อลมสงบหรือลมอ่อน โดยเกิดจากควันที่ออกมาจากท่อไอเสียของอากาศยานขณะขึ้น-ลง อาจเกิดได้นานนับเป็นนาที่จนถึงหลายวัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะของอากาศ

2. เมฆ และน้ำฟ้า (Cloud and Precipitation)

เมฆ คือไอน้ำที่กลั่นตัวแล้วรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนลอยอยู่ในอากาศ อาจมีสภาพเป็นหยดน้ำเล็กๆ หรือเป็นน้ำแข็งเล็กๆ (Ice particle) การเกิดเมฆแต่ละชนิดจะสัมพันธ์กับสภาวะของความชื้นในอากาศอยู่มาก การกลั่นตัวของความชื้นในอากาศที่ทำให้เกิดเป็นเมฆชนิดต่างๆ นั้นขึ้นอยู่กับจำนวนไอน้ำเป็นสำคัญ ทศวินสัยในเมฆจะลดลงเนื่องมาจากหยดน้ำในก้อนเมฆ และยังขึ้นอยู่กับชนิดของเมฆด้วย ในเมฆชั้นสูงโดยทั่วไป ทศวินสัยมากกว่า 1,000 เมตร ในเมฆชั้นกลางจะอยู่ระหว่าง 1,000-20 เมตร สำหรับเมฆชั้นต่ำปกติจะน้อยกว่า 30 เมตร ยกเว้นเมฆก่อตัวทางตั้งขนาดใหญ่ (Towering cumulus) และเมฆคิวมูโลนิมบัส (Cumulonimbus) บางครั้งอาจต่ำกว่า 10 เมตร และถึงศูนย์ได้ ในเมฆที่หนามากๆ เมฆที่มีฐานต่ำ เช่น เมฆสเตรตัสจะเป็นอุปสรรคมากในการลงสนามบินของอากาศยาน

น้ำฟ้า (Precipitation) คือ ผลจากการกลั่นตัวของไอน้ำและตกลงมาผ่านชั้นบรรยากาศ จะมีลักษณะรูปร่างแตกต่างกันไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่ทำให้เกิดน้ำฟ้า โดยทั่วไปน้ำฟ้าเกิดจากการเคลื่อนตัวขึ้นลงในก้อนเมฆอย่างรวดเร็ว จนทำให้ความชื้นในก้อนเมฆเกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำตกลงสู่พื้นโลก ลักษณะของน้ำฟ้าที่สำคัญนั้นมีอยู่หลายชนิด เช่น

2.1 ฝน (Rain) เป็นน้ำฟ้าซึ่งมีภาวะเป็นของเหลว เกิดเมื่อละอองไอน้ำในก้อนเมฆจำนวนมากรวมตัวกันเป็นหยดน้ำมีขนาดใหญ่ ไม่อาจลอยตัวอยู่ในอากาศต่อไปได้อีก ก็จะตกลงมาเป็นฝน ซึ่งมีฝนละออง (drizzle) ฝนธรรมดา (rain) และฝนฟ้าคะนอง (thundershower) ทศวินสัยในฝนนั้นจะลดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิด ความรุนแรง และขนาดของเม็ดฝน โดยทั่วไปทศวินสัยในฝนจะมากกว่า 1 ไมล์ ยกเว้นกรณีฝนตกหนัก

2.2 หิมะ (Snow) เป็นน้ำฟ้าที่เป็นเกล็ดน้ำแข็ง ส่วนมากจะเป็นแฉกๆ หิมะประกอบด้วยมวลเกล็ดน้ำแข็ง อันเกิดจากการกลั่นตัวของไอน้ำในอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง หากใช้วัตถุสีดำผิวเรียบรองรับแล้วเอา แว่นขยายมาส่องดู จะสังเกตเห็นเกล็ดของน้ำแข็งแต่ละเกล็ดมีรูปร่างตั้งแต่ 6 เหลี่ยมรูปแบนราบรูปปริซึม และ รูปร่างอื่นๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นในขณะเกิดหิมะ ทศวินัยในหิมะนั้นจะลดลงต่ำกว่าในฝนมาก เพราะหิมะทึบแสงสายตาก็ไม่สามารถมองเห็นเกล็ดหิมะได้ บางครั้งทศวินัยลดลงถึงศูนย์ในหิมะหนัก

2.3 ลูกเห็บ (Hail) ประกอบด้วยก้อนน้ำแข็งเล็กๆ กลมๆ โครงสร้างภายในก้อนน้ำแข็งที่ประกอบเป็น ลูกเห็บจะมีลักษณะกลมเป็นชั้นๆ ซ้อนกันคล้ายหัวหอม ปกติน้ำแข็งที่ตกลงมาเป็นลูกเห็บ ส่วนใหญ่จะมองเห็น เป็นสีขาวขุ่น บางครั้งลูกเห็บตกลงมามีขนาดใหญ่ มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 0.2 - 2 นิ้ว ก็มี (0.5 - 5 เซนติเมตร) เรียกลูกเห็บชนิดนี้ว่า Hailstones ลูกเห็บชนิดนี้เวลาตกลงมา อาจทำให้พืชพันธุ์และสิ่งก่อสร้างเสียหายได้

ลูกเห็บที่ตกลงสู่พื้นดินเกิดจากเมฆคิวมูโลนิมบัสเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากภายในก้อนเมฆคิวมูโลนิมบัส มี กระแสไหลขึ้นอย่างแรง ทำให้หยดน้ำภายในก้อนเมฆถูกพัดพาขึ้นสู่เบื้องบนในระดับสูง จนหยดน้ำเย็นจัด กลายเป็นก้อนน้ำแข็งและตกลงมาสู่เบื้องล่างภายในก้อนเมฆ ต่อมาก้อนน้ำแข็งนี้จะถูกพัดสู่เบื้องบนอีก เป็นเช่นนี้ อยู่หลายรอบจนกระทั่งมีขนาดใหญ่ขึ้นจนหนัก จึงตกลงมาเป็นลูกเห็บ

3. ฝอยน้ำจากทะเล (Wind-blown spray from the sea)

ขณะที่ความเร็วลมเพิ่มขึ้นเหนือทะเล ยอดของคลื่นจะสูงขึ้นและผลสุดท้าย ฝอยน้ำ (spray) จะเริ่มก่อตัว จากคลื่นหัวแตกด้วยลมที่แรงขึ้น การฟุ้งขึ้นของฟองจะถูกพัดพาเข้าไปในอากาศ เมื่อใดที่ความเร็วลมแรงขึ้นถึง ขนาดพายุกล้า (Strong gale) คือมีความเร็ว 41-47 นอต (75-88 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) ฝอยน้ำจะเริ่ม กระทบกระเทือนต่อทศวินัยที่ผิวพื้น ผลของมันจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วลม และเมื่อลมมีความเร็วถึงขนาดได้ฝุ่น 64 นอต ขึ้นไป (118 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) ทศวินัยจะลดลงอย่างมาก การลดของทศวินัยที่เกิดขึ้นโดยฝอยน้ำ จากทะเลจะมีผลกระทบต่อชายฝั่งด้วยเมื่อมีลมพัดเข้าหาฝั่ง (On shore wind)

4. อนุภาคของน้ำมันในบรรยากาศ (Oil particles in the atmosphere)

ทศวินัยในนครใหญ่ๆ บางแห่งอาจจะลดลงโดยการปรากฏของอนุภาคน้ำมันในอากาศได้บ้าง ไอน้ำมัน จากยานยนต์เป็นต้นเหตุสำคัญของอนุภาคเหล่านี้ ในนครใหญ่ๆ ได้ให้ความสนใจเป็นอย่างมากต่อการคิดค้นหาวิธี ที่จะลดมลภาวะในอากาศ (Air pollution) ซึ่งเกิดขึ้นโดยอนุภาคของน้ำมันที่เข้าสู่อากาศจากแหล่งอุตสาหกรรม และจากยานยนต์

5. ควันและฟ้าหลัว (Smoke and Haze)

ควันทำให้ทศวินัยลดลงไปในบริเวณที่มีอากาศสงบนิ่ง (stable) มากๆ จัดว่าเป็นมลภาวะ (pollution) อย่างหนึ่ง

ควันเกิดจากการเผาไหม้ โดยเฉพาะในโรงงานอุตสาหกรรม อนุภาคของควันมักมีขนาดใหญ่จึงหนัก และ เกิดมากในระดับต่ำๆ ในฤดูหนาวที่อากาศมีการทรงตัวดี ควันจะถูกจำกัดไม่ให้ลอยสูงขึ้นไปจึงแขวนลอยอยู่ใน อากาศ ควันจะจางหายไปเมื่ออากาศไม่ทรงตัวหรือมีกระแสอากาศปั่นป่วนรุนแรง (Strong turbulence) การ ปิดบังทศวินัยจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับ

5.1 อัตราการเกิดของควัน

5.2 อัตราการฟุ้งกระจายเนื่องมาจากลม และกระแสอากาศปั่นป่วนทั้งในทางตั้งและทางระดับ

5.3 ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดของควัน ถ้าระยะห่างน้อยควันจะปิดบังทัศนวิสัยมาก

ควันจะปิดบังได้มากในเวลากลางคืนเพราะไม่มีการพาในทางตั้ง (Convection) ในกรณีที่ลมไม่แรงนัก ควันจะทำให้ทัศนวิสัยลดลงได้ต่ำกว่า 2 กิโลเมตร ในกรณีที่เป็นพวควันที่เกิดจากสารดูดความชื้น (Hygroscopic) จะทำให้ทัศนวิสัยลดลงได้มากกว่าควันที่เกิดจากสารที่ไม่ดูดความชื้น (Nonhygroscopic) เพราะจะเกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำได้ง่ายขึ้น ในกรณีนี้การมีหมอกเกิดขึ้นร่วมกับควันเรียกว่า หมอกปนควัน (Smog) ถ้าก่อตัวหนามากๆ จะปิดบังแสงอาทิตย์ได้ สามารถสัมผัสได้โดยการดมกลิ่น

ฟุ้งหรือหมอกแดดเป็นอนุภาคเล็กๆ ของสิ่งเจือปนที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ (Impurities) เช่น ควัน, ฝุ่นละออง, อนุภาคของผงเกลือ จะเกิดขึ้นในสภาวะอากาศทรงตัวดี ปกติจะมีความหนา 2,000 - 3,000 ฟุต แต่บางครั้งแผ่สูงขึ้นไปถึง 15,000 ฟุต จากผิวพื้น ทัศนวิสัยทางระดับเหนือชั้นของหมอกแดดจะดี เมื่อเกิดฟุ้งหรือหมอกแดด ท้องฟ้าจะเป็นฝ้าขาวๆ ฟุ้งที่เกิดจากอนุภาคเกลือจะมีสีขาว ในประเทศไทยฟุ้งจะเกิดขึ้นหนามากในเดือน ก.พ. - มี.ค.

6. ฝุ่นและทราย (Dust and Sand)

ฝุ่นและทรายถูกยกขึ้นไปเหนือพื้นดินโดยกระแสลมได้สูงเพียงใด ขึ้นอยู่กับขนาด และสภาวะทางอุตุนิยมวิทยา จะทำให้ปิดบังทัศนวิสัยได้ เช่น ความเร็วลม กระแสอากาศปั่นป่วน และการทรงตัวของอากาศ ฯลฯ ในกรณีที่ทัศนวิสัยลดลงต่ำกว่า 1 กิโลเมตร ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้จะเป็นพายุฝุ่นหรือพายุทราย (Duststorm or Sandstorm) โดยทั่วๆ ไปฝุ่นจะปิดบังทัศนวิสัยได้มากกว่าทราย อนุภาคของทรายจะถูกยกสูง ไม่เกิน 20-30 เมตร แต่ฝุ่นจะไม่จำกัดความสูง สภาพที่เอื้ออำนวยให้เกิดพายุฝุ่นและพายุทราย คือ ผิวดินจะต้องแห้ง ความเร็วลมมากพอสมควร อากาศไม่ทรงตัว และมีการเคลื่อนตัวในทางตั้ง (Vertical motion) อย่างแรง

ในกรณีที่ไม่มีเมฆหรือมีเมฆน้อย อิทธิพลของแสงอาทิตย์จะทำให้พื้นดินร้อนไม่เท่ากัน จึงทำให้อากาศไหลหมุนเวียนเกิดเป็นลมวน เช่น ลมบ้าหมู (Dust devil) สภาพพายุฝุ่นหรือพายุทรายมักจะเกิดร่วมกับ Dry thunderstorm แต่จะเกิดไม่นาน ในกรณีที่พายุฝุ่นจะปิดบังทัศนวิสัยได้นานกว่าพายุทราย

7. อนุภาคเกลือ (Salt particles)

อนุภาคเกลือส่วนมากจะเกิดขึ้นตามชายฝั่งทะเล บางครั้งอาจจะถูกพัดพาเข้าไปบนพื้นดินได้ไกลๆ โดยเฉพาะในฤดูแล้ง หลังจากถูกพัดพาไปแล้วไอน้ำระเหยไปทำให้เหลือแต่อนุภาคเกลือ อนุภาคนี้จะเป็นแกนกลางในการกลั่นตัว (Condensation nuclei) ถ้าในเวลาต่อมาอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์เพียง 70 เปอร์เซ็นต์ หรือมากกว่า อนุภาคเกลื่อดังกล่าวก็จะสามารถช่วยให้ไอน้ำในอากาศกลั่นตัวเป็นหยดน้ำได้ แล้วแขวนลอยอยู่ในอากาศเป็นฝ้าหรือชื้น (Moist or Damp haze) มักจะเกิดขึ้นในเมืองใหญ่ๆ ที่มีอากาศสกปรก ในกรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ อนุภาคเกลือที่แขวนตัวอยู่ในอากาศจะแห้งทำให้เกิดฝ้าแห้ง (Dry haze)
