



เอกสารประกอบการศึกษา
สำหรับหลักสูตร เจ้าหน้าที่ข่าวอากาศ คปอ.รุ่นที่ ๑๒
ประจำปี ๒๕๖๗

วิชา
สภาพอากาศที่เป็นอันตรายต่อการบิน
(จำนวน ๑๔ ชม.)

คำนำ

เอกสารประกอบการบรรยายวิชา สภาพอากาศที่เป็นอันตรายต่อการบินฉบับนี้ เรียบเรียงขึ้นจากตำรา อุตุนิยมวิทยาเพื่อการบิน กขอ.คปอ.เล่มที่ ๒ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนสำหรับ หลักสูตร เจ้าหน้าที่ข่าวอากาศ คปอ.รุ่นที่ ๑๑ ประจำปี ๒๕๖๖ โดยมีเนื้อหาที่จำเป็นต่อระดับการเรียนรู้ของ นทน.ของหลักสูตรนี้เท่านั้น จึงทำให้เนื้อหาของตำราฯ ถูกกลดทอนลงไปให้เหมาะสมกับเวลา หาก นทน.เข้ารับ การศึกษาในระดับหลักสูตรที่สูงขึ้น เนื้อหาวิชา ก็จะมีมากขึ้นตามระดับของการเรียนรู้

น.ท.ธีรพร ประภาสะโนบล

หน.ผสท.กขอ.คปอ.

ผู้บรรยาย

สารบัญ

บทที่ ๑ พายุฟ้าคะนอง (Thunderstorm)	หน้า ๔
บทที่ ๒ พายุหมุนเขตร้อน (Tropical Cyclones)	หน้า ๑๒
บทที่ ๓ ขีดจำกัดของทัศนวิสัย (Restrictions to Visibility)	หน้า ๑๙
บทที่ ๔ ลมพัดตัดกันในระดับต่ำ (Low Level Wind Shear)	หน้า ๒๖
บทที่ ๕ กระแสอากาศปั่นป่วน (Turbulence)	หน้า ๓๓
บทที่ ๖ น้ำแข็งเกาะเครื่องบิน (Aircraft Icing)	หน้า ๔๕

บทที่ ๑

พายุฟ้าคะนอง (Thunderstorm)

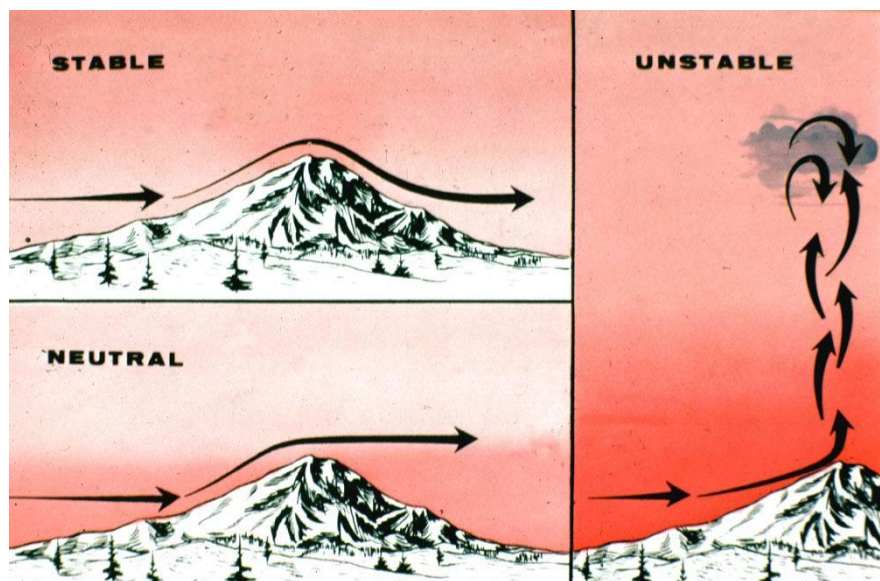
กล่าวนำ

พายุฟ้าคะนองเป็นระบบของสภาพอากาศเฉพาะถิ่น (Local weather system) ขนาดเป็น meso-scale (๑๐-๑๐๐ ตร.กม.) เกิดจากการเจริญเติบโตของเมฆคิวมูลัส (Cumulus) จนเป็นเมฆคิวมูโลนิมบัส (Cumulonimbus) มีฟ้าแลบฟ้าร้องเกิดขึ้นร่วมด้วย

พายุฟ้าคะนองในเขตร้อนเกิดขึ้นทุกวันตลอดปี ในเขตอบอุ่นจะเกิดบ่อยที่สุดตั้งแต่ปลายฤดูหนาวถึงต้นฤดูใบไม้ผลิ เขตขั้วโลกเกิดขึ้นบ่อยที่สุดในฤดูร้อน

๑. ปัจจัยที่จำเป็นในการก่อตัวของพายุฟ้าคะนอง

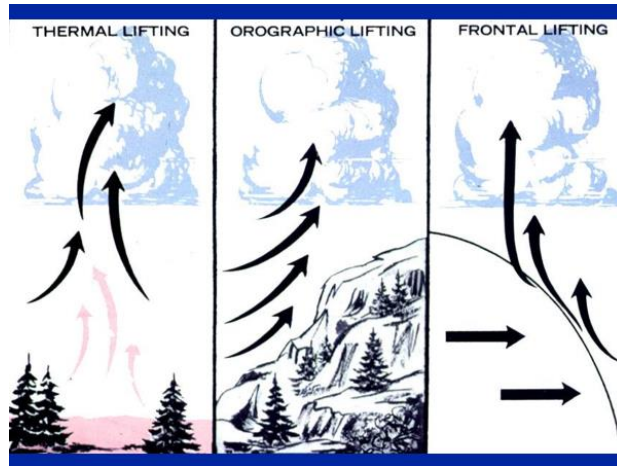
๑.๑ ชั้นของอากาศไม่ทรงตัว (Unstable air) หรือมีแนวโน้มที่จะไม่ทรงตัว (Potentially unstable) (รูปที่ ๑-๑) มีความหนาแน่นมากโดยปกติแล้วมีความหนาแน่นเป็น ๑๐,๐๐๐ ฟุตขึ้นไป ในกรณีที่รุนแรงจะเกิดขึ้นตั้งแต่ผิวพื้นถึงระดับโทรโพพอส



รูปที่ ๑-๑

๑.๒ ต้องมีปริมาณไอน้ำเป็นจำนวนมาก (Plentiful supply of water vapor) โดยเฉพาะบริเวณใกล้ผิวพื้นที่ซึ่งเป็นจุดเริ่มแรกของกระแสอากาศที่ก่อให้เกิดเมฆ

๑.๓ ต้องมีแรงภายนอก เช่น การพาความร้อน (Heating from below) แนวลมพัดสอบ (convergence) การเคลื่อนตัวของอากาศไปตามลาดภูเขา (Up lift over hill and mountain range) และการเคลื่อนตัวของอากาศตามลาดแนวปะทะอากาศ (Frontal ascent) มากจะทำให้อากาศยกตัวขึ้นถึงระดับที่อากาศจะลอยตัวได้เองอย่างอิสระ (รูปที่ ๑-๒)



รูปที่ ๑-๒

ปัจจัยที่เอื้ออำนวยให้พายุฟ้าคะนองมีความรุนแรงเพิ่มขึ้น ได้แก่

- มีกระแสไหลออกอย่างรุนแรงในบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ระดับสูง (Outflow at high level)

- อุณหภูมิของยอดเมฆต้องอยู่ในช่วง -๒๐ ถึง -๔๐ องศาเซลเซียส ซึ่งจะเอื้ออำนวยให้เกิด ice pellets จำนวนมหาศาล

- ลมพัดตัดกันในทางตั้งภายในก้อนเมฆต้องมีกำลังอ่อน (Weak vertical wind shear) ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการก่อตัวในทางตั้งของแกนเมฆพายุฟ้าคะนองได้สูง (deep) มากยิ่งขึ้น

๒. ชนิดของพายุฟ้าคะนอง (Type of Thunderstorm)

๒.๑ พายุฟ้าคะนองที่เกิดร่วมกับแนวปะทะอากาศ (Frontal Thunderstorm) พายุฟ้าคะนองสามารถเกิดได้ในแนวปะทะอากาศทุกชนิด โดยการยกตัวของอากาศอุ่น, ขึ้นที่ทรงตัวไม่ดี บนพื้นลาดของแนวปะทะอากาศ ซึ่งจำแนกได้ดังนี้

๒.๑.๑ พายุฟ้าคะนองที่เกิดร่วมกับแนวปะทะอากาศอุ่น เมฆที่พบส่วนใหญ่จะเป็นเมฆแผ่น (stratiform) พายุฟ้าคะนองชนิดนี้มีความรุนแรงน้อยกว่าที่เกิดในแนวปะทะอากาศแบบอื่นๆ เนื่องจากแนวปะทะอากาศชนิดนี้ มีความชันน้อยนั่นเอง

๒.๑.๒ พายุฟ้าคะนองที่เกิดร่วมกับแนวปะทะอากาศเย็น มีความรุนแรงมากที่สุด ยกเว้นเมื่อเทียบกับที่เกิดในแนวพายุฟ้าคะนอง มักเกิดติดต่อกันเป็นแนว ซึ่งง่ายต่อการตรวจพบ มักจะเกิดได้บ่อยและรุนแรงที่สุดในช่วงเวลาบ่าย

๒.๑.๓ พายุฟ้าคะนองที่เกิดร่วมกับแนวปะทะอากาศคงที่ เกิดได้บางครั้ง ซึ่งโดยปกติมีลักษณะการเกิดที่แผ่กระจายกระจายเป็นบริเวณกว้าง (Widely scatter)

๒.๑.๔ พายุฟ้าคะนองที่เกิดร่วมกับแนวปะทะอากาศปิด มักมีรูปแบบการเกิดไม่ชัดเจน รวมทั้งถูกปิดบังโดยเมฆแผ่นและยากต่อการตรวจพบจึงเป็นอันตรายต่อการบิน

๒.๒ พายุฟ้าคะนองที่เกิดในมวลอากาศ (Air mass Thunderstorm)

๒.๒.๑ พายุฟ้าคะนองเนื่องจากการพาความร้อน (Convective Thunderstorm) เกิดได้บ่อยเมื่อเทียบกับพายุฟ้าคะนองที่เกิดในมวลอากาศชนิดอื่น โดยเกิดได้ทั้งบนบกเหนือพื้นน้ำ ในพื้นที่เกือบทั้งหมดทั่วโลก และพบได้เป็นประจำในเขตละติจูดกลางในช่วงฤดูร้อน การยกตัวของมวลอากาศในพายุฟ้าคะนองประเภทนี้ มีสาเหตุจากการได้รับความร้อนจากชั้นอากาศระดับล่าง ซึ่งสัมผัสอยู่กับพื้นดินหรือพื้นน้ำที่อุ่น

โดยปกติเมฆก่อตัวทางตั้งจะก่อตัวเหนือพื้นดินในเวลาบ่าย เมื่อความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ผิวโลกมีค่ามากที่สุด ซึ่งเมฆคิวมูลัสจะก่อตัวขึ้นได้ในขณะที่อากาศมีการทรงตัวไม่ดี และมีปริมาณของไอน้ำมากพอ

พายุฟ้าคะนองชนิดนี้ยังสามารถเกิดได้ในบริเวณชายฝั่งในเวลาบ่าย เมื่ออากาศเย็นขึ้นที่พัดเข้าสู่ฝั่งได้รับความร้อนจากพื้นดินที่อุ่นกว่า โดยเกิดพายุฟ้าคะนองเป็นแห่งๆ หรือกระจายเป็นบริเวณกว้างได้ ซึ่งจะสังเกตพบได้ง่ายจากลักษณะเมฆก่อตัวทางตั้ง (Towering) ฟ้าแลบ และมีฝนตก

๒.๒.๒ พายุฟ้าคะนองเนื่องจากลักษณะภูมิประเทศ (Orographic Thunderstorm) เกิดจากการยกตัวของอากาศอุ่นขึ้น ทรงตัวไม่ดีขึ้นไปตามลาดเขา สามารถก่อตัวได้อย่างรวดเร็ว และกินบริเวณกว้าง ปกติจะทรงตัวอยู่นานหลายชั่วโมงด้านหน้าแนวรับลม การก่อตัวจะมีลักษณะเป็นเซลล์เดี่ยวเหนือยอดเขา หรือเป็นแนวของพายุตามความยาวแนวสันเขา ซึ่งถ้าภูเขามีความชันมากโอกาสเกิดลูกเห็บจะมีสูง

เป็นการยากที่จะสังเกตเห็นพายุฟ้าคะนองชนิดนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากทิศทางด้านรับลมของภูเขา เนื่องจากถูกเมฆแผ่นปกคลุมและปิดบังอยู่ อย่างไรก็ตามการตรวจพบจะกระทำได้ง่ายกว่าในทิศทางจากด้านหลังลม

ไม่แนะนำให้บินผ่านเข้าไปในส่วนล่างของพายุฟ้าคะนองชนิดนี้ เนื่องจากเป็นบริเวณของยอดเขาและสันเขาถูกซ่อนอยู่โดยการปกคลุมของเมฆ

๒.๒.๓ พายุฟ้าคะนองที่เกิดระดับสูง (High level Thunderstorm) ในเดือนที่เป็นช่วงหน้าร้อน พายุฟ้าคะนองมักเกิดได้บ่อยในเวลากลางคืน โดยไม่มีผลเกี่ยวเนื่องมาจากแนวปะทะอากาศที่ผิวพื้น ปกติจะเกิดในระดับสูงเนื่องมาจากการทรงตัวไม่ดีของอากาศ ซึ่งเป็นผลของการเย็นตัวลงจากการแผ่รังสีความร้อนที่ส่วนบนของชั้นอากาศขึ้น และทรงตัวไม่ดีอย่างมีเงื่อนไข (Conditionally unstable) เพราะว่าพายุฟ้าคะนองชนิดนี้มีความรุนแรงน้อย และเกิดในระดับสูง ทำให้การบินที่ได้ระดับฐานเมฆสามารถทำได้อย่างปลอดภัย ส่วนการบินที่ระดับเหนือขึ้นไป อาจกระทำได้ในบริเวณระหว่างยอดของเมฆ ซึ่งสามารถมองเห็นได้จากแสงสว่างของการเกิดฟ้าแลบ

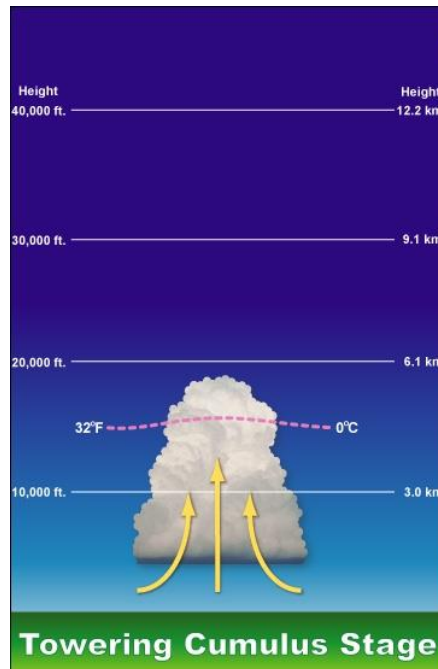
พายุฟ้าคะนองในระดับสูงที่เกิดได้บ่อยในฤดูร้อนอีกชนิดหนึ่ง เกิดจากการเคลื่อนตัวเข้ามาซ้อนทับของอากาศเย็นด้านบนเหนืออากาศอุ่นขึ้นด้านล่าง พบได้บ่อยในเวลากลางคืนมากกว่าเวลากลางวัน โดยมีปัจจัยช่วยเสริมจากการแผ่รังสีออกของความร้อน พายุฟ้าคะนองชนิดนี้ไม่จำเป็นต้องถูกจัดอยู่ในพายุฟ้าคะนองที่เกิดระดับสูง เนื่องจากสามารถเกิดได้จากการเคลื่อนตัวเข้ามาซ้อนทับของอากาศเย็นในระดับบน ในขบวนการของพายุฟ้าคะนองเนื่องจากการพาความร้อน

๒.๓ แนวพายุฟ้าคะนอง (Squall line) ลักษณะการเกิดเป็นแนวแคบๆ ในบริเวณที่ไม่มีแนวปะทะอากาศ แนวพายุฟ้าคะนองก่อตัวด้านหน้าของแนวเคลื่อนที่แนวปะทะอากาศเย็น ๕๐ - ๓๐๐ ไมล์ และอาจเกิดขึ้นได้แม้จะไม่มีแนวปะทะอากาศร่วมด้วย แนวของการเกิดอาจยาวจนยากที่จะบินอ้อม และกว้างหรือรุนแรงเกินกว่าที่จะสามารถบินผ่านได้อย่างปลอดภัย โดยทั่วไปแล้วจะเกิดได้เร็วและรุนแรงกว่าพายุฟ้าคะนองที่เกิดร่วมกับแนวปะทะอากาศเย็น สภาวะที่อันตรายที่สุดในพายุฟ้าคะนองชนิดนี้ได้แก่ การเกิดลูกเห็บและลมพัดอย่างรุนแรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเกิดทอร์นาโด (tornado)

๓. วงรอบของพายุฟ้าคะนอง (Life - cycle) จำแนกได้ ๓ ขั้นตอน คือ ขั้นก่อตัว ขั้นเจริญเติบโตเต็มที่ และขั้นสลายตัว โดยที่ช่วงของการเปลี่ยนแปลงไปสู่แต่ละขั้นตอน ยากที่จะสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน พายุฟ้าคะนองอาจเกิดเป็นเซลล์เดี่ยว ซึ่งมักเกิดในระยะเวลายันสั้น หรือประกอบด้วยกลุ่มของเซลล์ซึ่งอยู่ในขั้นการเกิดที่แตกต่างกัน โดยมีวงจรของการเกิดจนกระทั่งถึงการสลายตัว กินเวลาตั้งแต่ ๒๐ นาทีจนถึง ๓ ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับจำนวนและขั้นการเกิดของเซลล์ในพายุ

๓.๑ ขั้นก่อตัว (Cumulus stage or Building stage) ถึงแม้ว่าเมฆคิวมูลัสส่วนใหญ่จะไม่พัฒนาไปเป็นพายุฟ้าคะนอง แต่พายุฟ้าคะนองจะมีจุดกำเนิดมาจากเมฆคิวมูลัสเสมอ รูปแบบที่สำคัญที่เกิดในขั้นนี้ก็คือ กระแสอากาศไหลขึ้น (Updraft) (รูปที่ ๑-๓) ซึ่งสามารถพบได้ตั้งแต่ใกล้ผิวพื้นไปจนถึงหลายพันฟุตเหนือยอดเมฆ กระแสอากาศไหลขึ้นที่รุนแรงที่สุดจะเกิดที่ระดับสูงขึ้นไปในช่วงปลายของขั้นตอนนี้ ซึ่งอาจสูงถึง ๓,๐๐๐ ฟุตต่อวินาทีหรือมากกว่านั้น

เมื่อมีปัจจัยที่ทำให้เมฆเริ่มก่อตัวขึ้นแล้ว โดยพลังงานจากการคายความร้อนแฝงของการกลั่นตัว และการระเหิดกลับของไอน้ำ จะทำให้เมฆเติบโตมากยิ่งขึ้น

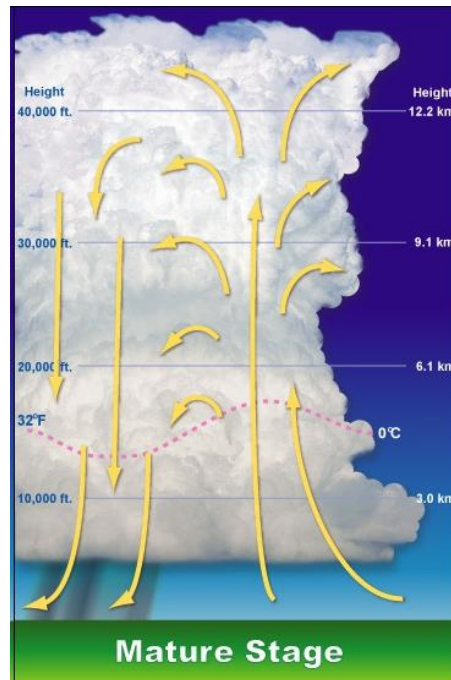


รูปที่ ๑-๓

ในระยะเริ่มแรก หยดละอองน้ำมีขนาดเล็กมาก แต่จะโตเป็นเม็ดฝนเมื่อเมฆเพิ่มความหนามากขึ้นในทางตั้ง ในส่วนบนของเมฆประกอบด้วยผลึกหิมะและละอองน้ำแข็ง แม้กระนั้นหยดละอองน้ำยังมีสภาพเป็นของเหลวในกระแสอากาศไหลขึ้นแม้ที่ความสูงเหนือระดับเยือกแข็ง (Freezing level) ในพายุบางลูกสูงถึง ๔๐,๐๐๐ ฟุต ไม่ปรากฏการตกของเม็ดฝนในขั้นตอนนี้ เนื่องจากถูกพัดพาขึ้นสู่ระดับบน หรือถูกพุงเอาไว้โดยกระแสอากาศไหลขึ้น

๓.๒ ขั้นเจริญเติบโตเต็มที่ (Mature stage) เมื่อเริ่มมีการตกของฝนและลูกเห็บจากฐานเมฆ แสดงถึงจุดเริ่มต้นของการเกิดกระแสอากาศไหลลง (Downdraft) และพายุฟ้าคะนองได้เข้าสู่ขั้นตอนการเจริญเติบโตเต็มที่ ขนาดของเม็ดฝนและผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่และหนักเกินกว่าจะถูกพุงไว้โดยกระแสอากาศไหลขึ้น โดยเฉลี่ยแล้วในขั้นนี้พายุจะมีความสูงประมาณ ๒๕,๐๐๐ ฟุต (รูปที่ ๑-๔) และอาจจะสูงเพียง ๑๒,๐๐๐ ฟุตในเขตละติจูดสูง

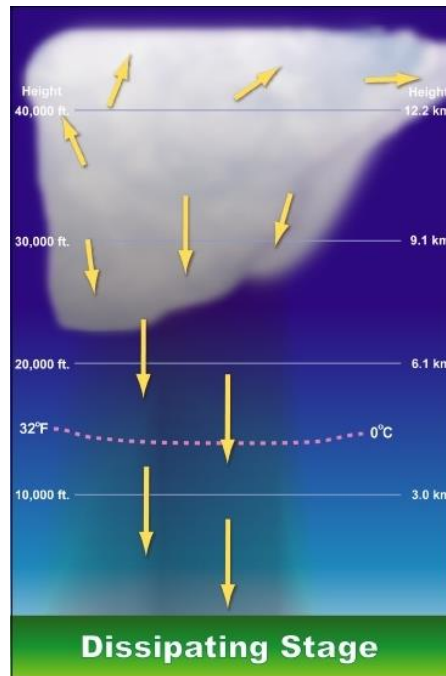
เมื่อเริ่มมีการตกของเม็ดฝน อากาศรอบ ๆ จะเริ่มมีการจมตัวลง และเนื่องจากมวลอากาศนี้มีการทรงตัวไม่ดี อากาศเย็นที่จมตัวลงจะมีความเร็วเพิ่มมากขึ้น จนเป็นกระแสอากาศไหลลงซึ่งอาจมีความเร็วสูงถึง ๒,๕๐๐ ฟุตต่อวินาที และจะแผ่ขยายออกไปในแนวราบเมื่อไหลลงใกล้พื้นดิน แนวขอบหน้าของกระแสอากาศที่เย็นและลมกระโชกที่รุนแรง ซึ่งเกิดบริเวณผิวพื้นนี้เรียกว่า Gust front



รูปที่ ๑-๔

ในระยะแรกของขั้นนี้กระแอากาศไหลขึ้นที่ยังคงอยู่จะมีความเร็วเพิ่มมากขึ้น บางครั้งมากกว่า ๖,๐๐๐ ฟุตต่อนาที กระแอากาศไหลขึ้นและกระแอากาศไหลลงที่มีบริเวณการเกิดใกล้เคียงกันเป็นสาเหตุของ Vertical shear และ กระแอากาศปั่นป่วน (Turbulence) อย่างรุนแรง พายุฟ้าคะนองทุกลูกจะมีสภาพอากาศรุนแรงมากที่สุดในช่วงเวลานี้

๓.๓ ขั้นสลายตัว (Dissipating stage or Anvil stage) ตลอดช่วงของขั้นเจริญเติบโตเต็มที่ กระแอากาศไหลลงจะมีความเร็วเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่กระแอากาศไหลขึ้นลดความเร็วลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งเมฆทั้งก้อนกลายเป็นบริเวณของการเกิดกระแอากาศไหลลงทั้งหมด เนื่องจากกระแอากาศไหลขึ้นเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการกลั่นตัวและคายพลังงานในรูปความร้อนแฝงออกมา พายุฟ้าคะนองจึงเข้าสู่ขั้นตอนการสลายตัว ในขั้นตอนนี้ลมแรงในระดับสูงอาจพัดส่วนบนของเมฆออกไป โดยมีลักษณะเป็นรูปทั่ง (Anvil) (รูปที่ ๑-๕) อย่างไรก็ตามการปรากฏลักษณะเมฆเป็นรูปทั่ง ไม่ได้เป็นสิ่งบ่งชี้ว่าพายุฟ้าคะนองเข้าสู่ขั้นตอนการสลายตัว สภาพอากาศที่รุนแรงสามารถเกิดได้ในพายุหลาย ๆ ลูกที่มีลักษณะของเมฆรูปทั่งปรากฏชัดเจน



รูปที่ ๑-๕

พายุฟ้าคะนองที่รุนแรงมาก บางครั้งไม่ได้มีรูปแบบของการสลายตัวตามที่กล่าวมานี้ ถ้าหากความเร็วลมในทางระดับ (Horizontal wind) มีค่าเพิ่มขึ้นตามความสูง ขั้นตอนของการเจริญเติบโตเต็มที่將會ใช้เวลานานมากขึ้น และแนวของการเกิดกระแสอากาศไหลขึ้นจะถูกทำให้เอียงไปจากแนวเดิมอย่างมาก ในสถานะเช่นนี้หยาดน้ำฟ้าจะตกเฉพาะในบริเวณบางส่วนของกระแสอากาศไหลขึ้น หรือบางทีนอกบริเวณเมฆพายุฟ้าคะนอง ซึ่งทำให้กระแสอากาศไหลขึ้นสามารถเกิดต่อเนื่องจนกระทั่งพลังงานที่มีอยู่ถูกใช้จนหมด พายุฟ้าคะนองอาจจะสลายตัวได้ถึงแม้จะไม่ถูกแทนที่โดยกระแสอากาศไหลลง นอกจากนี้ การตกของน้ำฟ้าในเมฆที่มีลักษณะเอียงเช่นนี้ยังเป็นสาเหตุให้กระแสอากาศไหลลงเกิดได้นอกบริเวณของเมฆ

๔. อันตรายจากพายุฟ้าคะนอง

๔.๑ กระแสอากาศปั่นป่วน สามารถพบได้เสมอในพายุฟ้าคะนอง ซึ่งมีผลทำให้เกิดความเสียหายกับเครื่องบิน และเป็นอันตรายต่อผู้โดยสารและลูกเรือ จุดที่เกิดรุนแรงมากที่สุดจะอยู่ระหว่างรอยต่อของกระแสอากาศไหลขึ้นและกระแสอากาศไหลลง กระแสอากาศปั่นป่วนยังสามารถเกิดได้ภายนอกเมฆออกไปไกลถึง ๒๐ ไมล์ และหลายพันฟุตเหนือระดับเมฆ กระแสอากาศปั่นป่วนที่รุนแรงสามารถพบได้ในบริเวณคล้ายทั้ง ๑๕-๓๐ ไมล์ ไกล ๑๐ หรือ ๑๕ ไมล์ เรียกว่า Gust front ถ้ากระแสอากาศไหลลงมีลักษณะการเกิดเป็นกลุ่มภายในพายุจะทำให้เกิด second หรือ third gust front ได้ ระหว่าง first gust และพายุฟ้าคะนองในบริเวณที่ Gust front ผ่าน ทิศทางลมเฉลี่ยในทางระดับสามารถเปลี่ยนได้ถึง ๔๐% และความเร็วลมสามารถเพิ่มได้ถึง ๕๐% ระหว่างผิวพื้นขึ้นไปถึงระดับ ๑,๕๐๐ ฟุต ดังนั้นลมที่ตรวจวัดได้ที่ผิวพื้นนั้น ไม่อาจใช้เป็นค่าประมาณของลมระดับต่ำ ๆ เหนือพื้นดินได้



รูปที่ ๑-๖

เมฆม้วน (Roll Cloud) (รูปที่ ๑-๖) ที่พบบริเวณขอบหน้าของพายุ เป็นสิ่งบ่งชี้การเกิดกระแสอากาศปั่นป่วน ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนในพายุฟ้าคะนอง ที่เกิดร่วมกับแนวปะทะอากาศเย็น และแนวพายุฟ้าคะนอง รวมทั้งมีความรุนแรงอย่างมากด้วย

๔.๒ ลูกเห็บ (Hail) ลูกเห็บเป็นสภาพอากาศที่อันตรายมากอีกอย่างหนึ่งสำหรับการบิน มักเกิดในช่วงชั้นการเจริญเติบโตเต็มที่ซึ่งมีการไหลขึ้นอย่างรุนแรง (Strong updraft) ยิ่งพายุถูกใหญ่โอกาสเกิดลูกเห็บยิ่งมากตามไปด้วยโดยสามารถพบได้ที่ความสูงถึง ๔๕,๐๐๐ ฟุตภายนอกเมฆ โดยเฉพาะใต้บริเวณเมฆรูปทั้งของพายุฟ้าคะนองขนาดใหญ่ บางครั้งลูกกลมพัดไปได้ไกลถึง ๑๐ ไมล์จากพายุ ลูกเห็บสามารถเกิดได้ในพายุฟ้าคะนองลูกใดๆ ขนาดของลูกเห็บเพียงแค่ ๑/๒ ถึง ๓/๔ นิ้ว สามารถทำความเสียหายอย่างมากแก่อากาศยานภายในไม่กี่วินาที

๕. ฟ้าแลบ (Lightning) เกิดได้ทุกระดับในพายุฟ้าคะนอง แกนของการเกิดฟ้าแลบจะไม่ผ่านลงไปยังพื้นดิน แต่เป็นการเกิดระหว่างก้อนเมฆหรือภายในเมฆก้อนเดียวกัน อย่างไรก็ตามอันตรายจากฟ้าผ่าสามารถเกิดได้กับอากาศยานที่บินห่างจากเมฆหลายไมล์ ปรากฏการณ์ทางประจุไฟฟ้าที่เกิดจากพายุฟ้าคะนองยังสามารถเกิดได้ต่อเนื่อง ถึงแม้พายุฟ้าคะนองได้สลายตัวไปแล้วประจุไฟฟ้าอาจสะสมได้บนอากาศยานหลังจากบินผ่านเข้าไปในก้อนเมฆและบริเวณที่มีความหนาแน่นของน้ำฟ้า รวมไปถึง บินผ่านหิมะ, ผ่านฝน หรืออนุภาคขนาดเล็กเช่น ฝุ่นละออง, หมอกแดด และน้ำแข็ง ยิ่งอากาศยานมีขนาดใหญ่และบินเร็วมากเท่าใด จะมีโอกาสทำให้เกิดการกระทบที่ผิวลำตัวของอากาศยาน และเกิดการสะสมของประจุได้มากเท่านั้น อาจมีการทำปฏิกิริยากันระหว่างสนามไฟฟ้าของอากาศยานกับก้อนเมฆ เป็นผลให้เกิดการคายประจุไฟฟ้าสถิตย์ออกมา ซึ่งโดยปกติสร้างความเสียหายไม่มากนักและมีผลทำให้เกิดการรบกวนระบบวงจรไฟฟ้าได้อีกด้วย

ฟ้าผ่าและผลของไฟฟ้าสถิตย์เป็นต้นเหตุของอากาศยานอุบัติเหตุ และอุบัติเหตุของกองทัพอากาศสหรัฐอเมริกาที่มีการรายงานที่เกิดจากสภาพอากาศ โดยทั่วไปอากาศยานทุกชนิดประเภทมักจะล่อแหลมต่อการถูกฟ้าผ่าและได้รับผลของไฟฟ้าสถิตย์ ซึ่งสามารถเกิดได้ที่ความสูงตั้งแต่ผิวพื้นจนถึงอย่างน้อย ๔๓,๐๐๐ ฟุต ฟ้าผ่าอากาศยานจะเกิดได้เมื่อทำการบินในสภาวะอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่างรวมกัน ต่อไปนี้

- ภายในช่วงอุณหภูมิ ๘ องศาเซลเซียส ของระดับเยือกแข็ง
- ภายใน ช่วงความหนาประมาณ ๕,๐๐๐ ฟุต ของระดับเยือกแข็ง
- บินเข้าไปในฝนหรือหิมะ
- บินเข้าไปในเมฆ
- ในบริเวณที่เกิดกระแสอากาศปั่นป่วน

๖. ลมวงช้าง (Tornado) เป็นการหมุนอย่างรุนแรงของอากาศ มีลักษณะคล้ายวงช้างซึ่งทอดยาวออกมาจากเมฆคิวมูโลนิมบัส ถ้าไม่ถึงพื้นจะเรียกว่า funnel cloud และถ้าเกิดบนพื้นน้ำเรียกว่า water spout ปกติมีขนาดความกว้างเป็นร้อย ๆ หลา ภายในเมฆวงช้างความเร็วของการหมุนอาจสูงถึง ๓๐๐ ไมล์ต่อชั่วโมง ในขณะที่ความเร็วในการเคลื่อนตัวเฉลี่ยเพียงแค่ ๔๐ นอต พายุวงช้างสามารถเกิดได้ในพายุฟ้าคะนองทั่วไป แต่จะพบบ่อยในพายุฟ้าคะนองที่เกิดร่วมกับแนวปะทะอากาศเย็นเคลื่อนที่เร็ว หรือในแนวพายุฟ้าคะนอง

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

๘. ปรากฏการณ์ไฟฟ้าสถิตย์ที่เกิดจากน้ำฟ้า ไฟฟ้าสถิตย์ที่เกิดจากน้ำฟ้าซึ่งรบกวนคลื่นวิทยุสื่อสาร จะเกิดการแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้าตรงส่วนที่มีลักษณะเป็นขอบโลหะ และตามเหลี่ยมมุมของลำตัวอากาศยาน ในขณะที่บิน มักพบได้บ่อยเมื่อบินเข้าไปในพื้นที่ที่เกิดพายุฟ้าคะนอง และเมื่ออากาศยานผ่านเข้าไปในบริเวณที่มีความหนาแน่นของอนุภาคขนาดเล็กเช่น น้ำแข็ง และผงฝุ่น,ทราย โดยจะเกิดการสะสมของประจุไฟฟ้าสถิตย์บนลำตัวอากาศยานหรือในอากาศ ซึ่งเป็นสาเหตุสัญญาณรบกวนคลื่นวิทยุในช่วงคลื่นความถี่ต่ำ แต่อย่างไรก็ตามจะไม่เกิดการรบกวนของสัญญาณในช่วงคลื่นความถี่สูง ๆ (UHF)

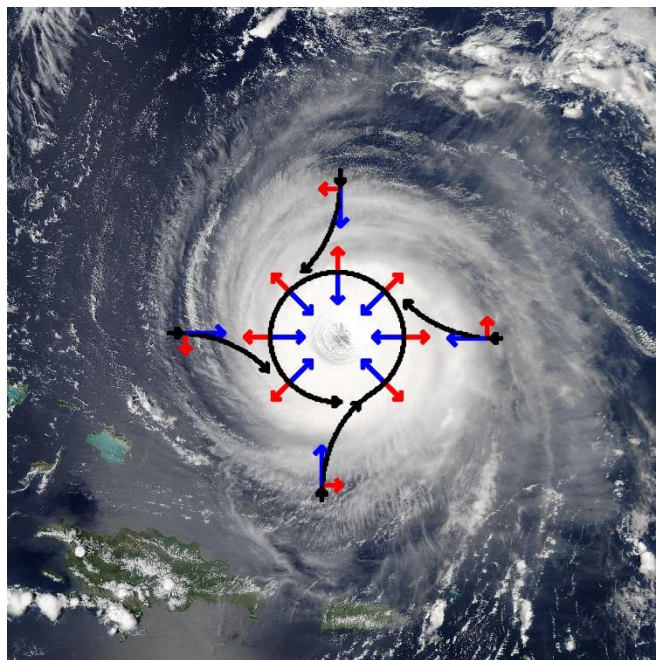
บทที่ ๒

พายุหมุนเขตร้อน (Tropical Cyclones)

พายุหมุนเขตร้อน คือ พายุที่ก่อตัวขึ้นเหนือพื้นน้ำในเขตร้อน มีการหมุนเวียนของกระแสลมเข้าหาศูนย์กลาง และมีเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ ๑๐๐ ไมล์ขึ้นไป เมื่อพายุนี้ทวีความรุนแรงขึ้นถึง ๖๔ นอต จะมีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามแหล่งที่เกิด แต่ลักษณะการก่อตัวจะเหมือนกันทุกประการ

การแบ่งชั้นของพายุหมุนเขตร้อน (Classification of Tropical Cyclones) พายุหมุนเขตร้อนแบ่งออกได้เป็น ๔ ชั้น ตามลักษณะความรุนแรงได้ดังต่อไปนี้

๑. อากาศเริ่มถูกรบกวน (Tropical Disturbance) เป็นบริเวณที่มีกระแสอากาศเริ่มถูกรบกวนเกิดการยกตัวขึ้นในทางตั้ง (Convective Activities) อาจมีเส้นความกดอากาศเท่าที่เป็นวงปิดหรือไม่ก็ได้ และการไหลแบบ Cyclonic ให้เห็นบนแผนที่ลมชั้นบนได้เล็กน้อย



รูปที่ ๒-๑

๒. พายุดีเปรสชัน (Tropical Depression) มีวงปิดของเส้นความกดอากาศเท่าตั้งแต่หนึ่งวงขึ้นไป มีการหมุนเวียนแบบ Cyclonic ให้เห็นบ้าง ความเร็วลมรอบ ๆ จุดศูนย์กลางเท่ากับหรือน้อยกว่า ๓๓ นอต

๓. พายุเขตร้อน (Tropical Storm) เส้นความกดอากาศเท่าที่เป็นวงปิดมากขึ้น มีการหมุนเวียนแบบ Cyclonic ชัดเจนขึ้น ความเร็วลมรอบศูนย์กลางตั้งแต่ ๓๔ นอต ถึง ๖๓ นอต

๔. พายุไต้ฝุ่น (Hurricane หรือ Typhoon) เพิ่มจำนวนของวงปิดของเส้นความกดอากาศเท่ามากขึ้นและชิดกันมากขึ้น มีการหมุนเวียนแบบ Cyclonic อย่างรุนแรง ความเร็วลมเท่ากับหรือมากกว่า ๖๔ นอตขึ้นไป แต่ถ้าพายุไต้ฝุ่นที่มีความเร็วลมเท่ากับหรือมากกว่า ๑๓๐ นอต เรียกว่า Super Typhoon

วงรอบของพายุหมุนเขตร้อน พายุหมุนเขตร้อนจะมีชีวิตเฉลี่ยประมาณ ๖ วัน จากเวลาที่เกิดจนถึงสลายตัวหรือเคลื่อนเข้าหาสิ่งกีดขวาง เช่น ภูเขาหรือแผ่นดิน หรือเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ไปยังละติจูดสูงขึ้นไป พายุหมุนบางลูกมีชีวิตรอยู่ประมาณ ๒-๓ ชั่วโมง และน้อยมากที่มีชีวิตรอยู่ได้ถึงสองอาทิตย์ ดังนั้นจึงแบ่งวงรอบออกเป็น ๔ ชั้น ดังนี้

๑. ขั้นการก่อตัว (Formative Stage) พายุหมุนเขตร้อนจะเกิดขึ้นได้ต้องมีการเริ่มต้นก่อตัวของระบบความกดอากาศ เช่น ร่องมรสุม คลื่นตะวันออก ร่องความกดอากาศต่ำ แนวลมพัดตัดกัน ฯลฯ บางครั้งจะต้องใช้เวลานานมากที่จะทวีความรุนแรงขึ้น ในขั้นนี้ทั่วไปแล้วความเร็วลมมักจะต่ำกว่า ๖๔ นอต ความกดอากาศจะลดลงถึง ๑๐๐๐ hPa

๒. ขั้นเจริญเติบโต (Immature Stage) ไม่แน่ว่าความรุนแรงเหล่านั้นจะถึงขั้นพายุไต้ฝุ่นเสมอไป บางครั้งอาจจะสลายตัวในขั้นก่อตัวภายใน ๒๔ ชั่วโมง ในกรณีที่มีความรุนแรงถึงขั้นไต้ฝุ่นแล้วความเร็วตั้งแต่ ๖๔ นอต ขึ้นไป ความกดอากาศจะลดลงจาก ๑๐๐๐ hPa ในขั้นนี้เป็นช่วงที่มีความเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น และมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นหลายอย่าง เช่น มีตาของพายุเกิดขึ้น มีแถบเมฆหมุนเข้าหาศูนย์กลางเกิดขึ้น ความชันของความกดอากาศมีค่ามากขึ้น (Strong Pressure Gradient)

๓. ขั้นเจริญเติบโตเต็มที่ (Mature Stage) หลังจากที่มีความกดอากาศ ความเร็วลมและความรุนแรงของพายุไต้ฝุ่นถึงขีดสุดแล้ว คือความกดอากาศที่ศูนย์กลางของพายุจะไม่ลดลงมากกว่านี้ และความเร็วลมรอบจุดศูนย์กลางไม่เพิ่มขึ้น การหมุนจะขยายวงออกไปรอบนอก ซึ่งอาจใช้เวลาตลอดสัปดาห์ การหมุนของลมในขั้นเจริญเติบโต (Immature Stage) ซึ่งมีรัศมีจำกัดอยู่ประมาณ ๒๐-๓๐ ไมล์ เมื่อถึงขั้นนี้แล้วรัศมีอาจแผ่ขยายไปได้ถึง ๒๐๐ ไมล์ โดยปกติแล้วบริเวณด้านขวามือของการเคลื่อนที่จะมีลักษณะอากาศเร็วกว่าทางด้านซ้ายมือ ขนาดของพายุจะมีค่าไม่แน่นอน เช่นพายุไต้ฝุ่นที่มีค่าความกดอากาศที่ศูนย์กลางต่ำกว่า ๙๕๐ hPa พายุบางลูกมีรัศมีเพียงแค่ ๑๐๐-๒๐๐ กม.

๔. ขั้นสลายตัว (Decaying Stage) พายุหมุนเขตร้อนจะสลายตัวเมื่อเคลื่อนตัวเข้าสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิเย็นกว่า หรือผิวพื้นที่มีสิ่งกีดขวาง ซึ่งเป็นเหตุให้สูญเสียแหล่งพลังงานความร้อนและความชื้น ทำให้ความรุนแรงลดลง และความเร็วลมลดลงจนต่ำกว่า ๖๔ นอต บริเวณตาพายุจะถูกคลุมด้วยเมฆ หรือมวลอากาศเย็นจากขั้วโลก แล้วสลายตัวไปในที่สุด ถ้าพายุหมุนเขตร้อนเคลื่อนตัวขึ้นไปทางทิศเหนือหรือทิศตะวันออกเฉียงเหนือในละติจูดสูง ๆ ขึ้นไปสู่เขตอบอุ่น (Temperate Zone) ความรุนแรงจะลดลงและเปลี่ยนคุณสมบัติเป็นพายุหมุนนอกเขตร้อน (Extra Tropical Cyclone)

ปรากฏการณ์เบื้องต้นในการเจริญเติบโตของหย่อมความกดอากาศต่ำ (Cyclogenesis)

ศาสตราจารย์ Riehl กล่าวว่า บรรยากาศที่หุ้มห่อโลกเรานี้ก็ไม่ผิดแปลกแตกต่างจากเครื่องยนต์ธรรมดา เริ่มจาก การติดเครื่องยนต์ การเคลื่อนที่ของเครื่องยนต์ พลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อน ตลอดจนการระบายความร้อน พายุหมุนเขตร้อนนั้นก็เหมือนกันกับเครื่องยนต์กลไกธรรมดาเช่นกัน โดย พลังงานส่วนใหญ่ที่มีอยู่ในพายุหมุนเขตร้อนมาจากไอน้ำ ในรูปของพลังงานความร้อนแฝงจากการกลั่นตัว (Latent Heat Energy of Condensation) โดยมีองค์ประกอบที่จำเป็นในการก่อตัว ดังนี้

๑. พลังงานส่วนใหญ่ที่ใช้ในพายุหมุนเขตร้อน คือพลังงานความร้อนแฝงจากการกลั่นตัว (Latent Heat Energy of Condensation) ทำนองเดียวกันกับที่เครื่องยนต์ได้พลังงานจากเชื้อเพลิง

๒. พายุหมุนเขตร้อนได้พลังงานจลน์จากลมที่พัดรอบเข้าหาศูนย์กลาง เป็นแรงยกอากาศขึ้นขึ้นไป เพื่อกลั่นตัวในขณะที่เครื่องยนต์อาศัยกระแสไฟจากแหล่งจ่ายมาจุดระเบิดในห้องเผาไหม้ นั่นคือ ใช้พลังงานจากแหล่งอิสระภายนอกมาจุดชนวนเริ่มกระบวนการ

๓. ขณะอากาศขึ้นถูกยกตัว การกลั่นตัวเกิดขึ้น นั่นคือกรรมวิธีในการแปรสภาพความร้อนแฝงไปอยู่ในรูปความร้อนที่สัมผัสได้ เมื่อมีการระบายออกทางเบื้องบน และการไหลเข้าทดแทนจากเบื้องล่างเกิดขึ้น ก็หมายถึงพลังงานจลน์ของการไหลหมุนวนรอบจุดศูนย์กลางได้เริ่มเกิดขึ้นแล้ว

ในเครื่องยนต์ก็เปลี่ยนพลังงานความร้อนแฝงจากเชื้อเพลิง ที่เติมเข้าไปให้กลายเป็นความร้อนที่สัมผัสได้ ซึ่งก็จะเป็นจุดเริ่มต้นการทำงานอย่างต่อเนื่องในห้องเผาไหม้ต่อไป

๔. แรงคอริโอลิส (Coriolis Force) กับแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force) จะเหนี่ยวนำพลังงานจลน์ของลมที่พัดเข้าหาศูนย์กลาง ไปเป็นพลังงานจลน์ของการหมุนรอบศูนย์กลาง จนกระทั่งปรากฏเป็นการหมุนเวียนรอบศูนย์กลาง

ส่วนในเครื่องยนต์จะมีกลไกต่อพ่วงเอาพลังงานที่เกิดตามข้อ ๓ ไปใช้ให้เกิดการเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ต้องการ

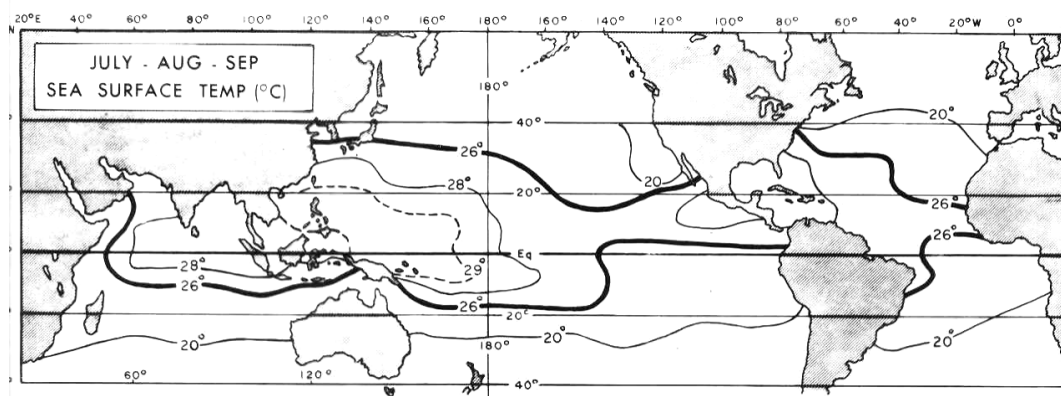
๕. การไหลถ่ายเทอย่างรวดเร็วใน Troposphere ตอนบน ช่วยระบายความร้อนส่วนเกินจากระบบไปสู่ส่วนอื่น ๆ ของโลก ซึ่งในเครื่องยนต์ก็ต้องมีระบบระบายความร้อนส่วนเกินเช่นกัน

พายุหมุนเขตร้อนเหล่านี้จะเจริญเติบโตจนมีความรุนแรงถึงขั้นพายุไต้ฝุ่นได้ก็ต่อเมื่อ มีองค์ประกอบตามที่กล่าวมาครบถ้วน

พายุหมุนเขตร้อนจะก่อตัวในบริเวณที่เป็นน้ำหรือมหาสมุทรเท่านั้น ไม่มีพายุหมุนเขตร้อนตัวใดที่ก่อตัวบนบก ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า น้ำหรือมหาสมุทรเป็นแหล่งผลิตความร้อนและความชื้นให้กับพายุหมุนเขตร้อน อุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสมในการก่อตัวของพายุหมุนเขตร้อนจะสูงกว่า ๒๖ องศาเซลเซียส จากการค้นคว้าพบว่าพายุหมุนเขตร้อนจะเคลื่อนไปตามกระแสที่อุ่นกว่าบริเวณใกล้เคียง ถ้าหากเคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณที่เย็นกว่า ความรุนแรงจะลดลง และในทางกลับกันถ้าเคลื่อนที่ตามกระแสที่อุ่นกว่า ความรุนแรงจะเพิ่มขึ้นนักค้นคว้าลงความเห็นว่า ในขณะที่ไอน้ำถูกยกตัวขึ้น เมื่อกลั่นตัวเป็นหยดน้ำแล้วจะคายความร้อนแฝงออกมา ความร้อนแฝงนี้เองที่เป็นพลังงานสำคัญในพายุหมุนเขตร้อน นอกจากนี้ยังมีพลังงานความร้อนอื่น ๆ ที่รวมอยู่ด้วย เช่น ความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่เมฆสะสมเอาไว้ พลังงานความร้อนเหล่านี้เองที่เป็นสิ่งที่ช่วยให้พายุหมุนเขตร้อนมีชีวิตอยู่ได้

การอธิบายถึงสมมุติฐานการก่อตัวของพายุหมุนเขตร้อนนี้ ยังเป็นสิ่งซึ่งหาความชัดเจนไม่ได้ แต่นักอุตุนิยมวิทยาส่วนใหญ่จะพิจารณาเงื่อนไขการก่อตัวของพายุหมุนเขตร้อน พอจะสรุปสถานะสำคัญที่เหมาะสมแก่การเกิดได้ ดังนี้

๑. ความต้องการขั้นพื้นฐาน ได้แก่ แหล่งของพลังงานความร้อนแฝงและความร้อนที่สัมผัสได้ (Latent Heat and Sensible Heat) ซึ่งได้มาจากบริเวณมหาสมุทรเขตร้อนที่มีอุณหภูมิผิวน้ำมากกว่า ๒๖ องศาเซลเซียส และสถานะนี้ต้องมีความลึกลงไปใต้ผิวน้ำประมาณ ๖๐-๗๐ เมตร ลักษณะเช่นนี้จะก่อให้เกิดการยกตัวในทางตั้งของกระแสอากาศได้เป็นอย่างดี



รูปที่ ๒-๒

๒. แรงคอริโอลิส (Coriolis Force) จะต้องมีค่ามากพอที่จะเหนี่ยวนำให้การหมุนรอบศูนย์กลางของหย่อมความกดอากาศต่ำนั้นแรงขึ้น ซึ่งจะอยู่ตั้งแต่ละติจูด ๕ องศาเหนือและใต้ขึ้นไป บริเวณระหว่างละติจูด ๕ องศาเหนือถึงใต้ พายุหมุนเขตร้อนจะมีโอกาสเกิดน้อยมาก สำหรับบริเวณที่พายุหมุนเขตร้อนก่อตัวเฉลี่ยจะ

อยู่ประมาณละติจูด ๑๕ องศา และประมาณ ๖๕ เปอร์เซ็นต์ของทั่วโลก จะก่อตัวระหว่างละติจูดที่ ๑๐-๒๐ องศา (ตาม Gray ได้ทำการศึกษาไว้)

๓. มี "ความแปรปรวนของกระแสอากาศในเขตร้อนระดับต่ำ" เกิดขึ้นก่อนแล้ว (Pre-Existing Low Level Disturbance is necessary) กล่าวคืออากาศถูกรบกวนในระดับต่ำ ๆ ที่มีลักษณะของการเหนี่ยวนำให้เกิดการหมุน (Vortices) เกิดขึ้น เช่น ไซโคลนในร่องมรสุม (Monsoon Cyclone) คลื่นอากาศฝ่ายตะวันออก (Easterly Wave) คลื่นอากาศแถบศูนย์สูตร (Equatorial Wave) หย่อมความกดอากาศต่ำ เป็นต้น

๔. ลมพัดตัดกันในทางตั้งมีกำลังอ่อน (Weak Vertical Wind Shear) นั่นคือความเร็วลมต้องไม่เพิ่มขึ้นตามความสูง ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการไหลในทางตั้งของกระแสอากาศรอบ ๆ แกนของระบบพายุเป็นไปได้อย่างดี เพราะถ้าหากลมพัดตัดกันในทางตั้งมีกำลังแรง ก็จะเป็นตัวการพัดพาเอาความร้อนกระจายออกไป จะไม่มีการสะสมพลังงาน

๕. มีความชื้นสัมพัทธ์สูงในบรรยากาศ โดยเฉพาะในบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ตอนกลาง (Middle Troposphere) เพื่อการไหลเข้าสู่ระบบของพายุ (Entrainment of Moist Air)

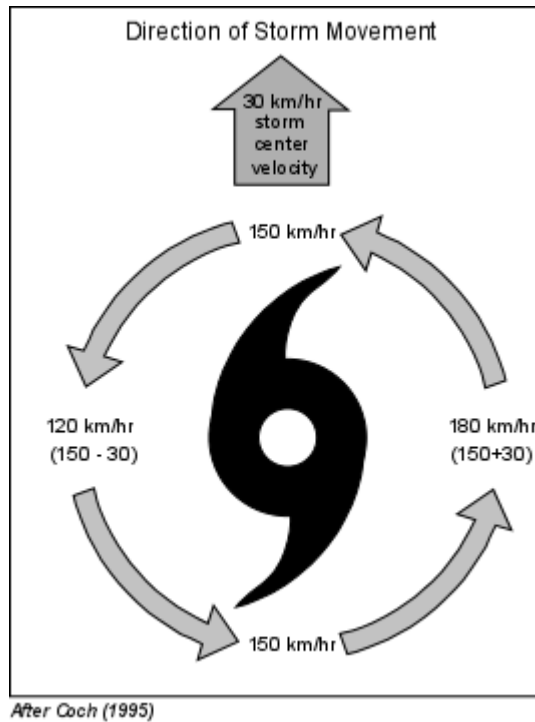
๖. มีกระแสอากาศไหลออกจากส่วนบนของพายุ (Upper Level Divergence) จะเป็นตัวก่อให้เกิดกระแสอากาศไหลพัดสอบเข้าสู่เบื้องล่าง (Low Level Convergence) ทำให้ความกดอากาศที่ผิวพื้นลดลงอย่างมาก

โครงสร้างของพายุหมุนเขตร้อนที่ระดับผิวพื้น (Surface Structure of Tropical Cyclones)

ความกดอากาศที่ผิวพื้น ส่วนใหญ่แล้วความกดอากาศจะลดลงและน้อยที่สุดตรงจุดศูนย์กลางของพายุจากการสังเกตจะพบว่า เมื่อหันหน้าไปตามทิศทางที่เคลื่อนที่อัตราเปลี่ยนค่าของความกดอากาศต่อระยะทาง (Pressure Gradient) ทางด้านขวาจะมีค่ามากกว่าทางด้านซ้าย นั่นคือ เส้นความกดอากาศเท่าจะถี่ทางด้านขวามากกว่าทางซ้าย ในการวิเคราะห์แผนที่อากาศไม่สามารถลากเส้นความกดอากาศเท่าเข้าไปอยู่ภายในศูนย์กลางของพายุได้ ตามปกติแล้วใกล้ศูนย์กลางจะเขียนวงปิดของเส้นความกดอากาศเท่าทำให้ใกล้วงกลมมากที่สุด

อุณหภูมิที่ผิวพื้น จากผลการค้นคว้าและผลการตรวจวัด จะพบว่าอุณหภูมิที่ผิวพื้นส่วนนอกของตาพายุได้ฝนจะคงที่และจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อใกล้ศูนย์กลาง ส่วนในระดับสูงขึ้นไป จะพบว่าภายในตาพายุได้ฝนจะอุ่นกว่าอากาศโดยรอบ

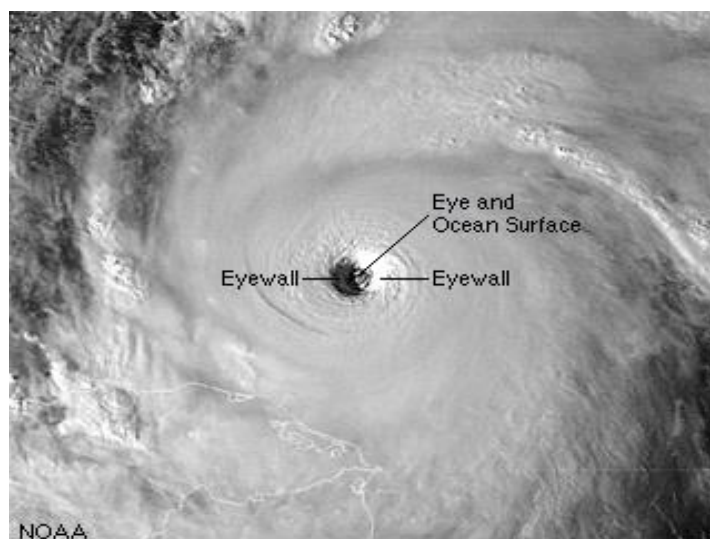
ลมผิวพื้น ทราบกันอยู่แล้วว่าความเสียหายอันยิ่งใหญ่จากพายุหมุนเขตร้อนมักจะเกิดจากลม ลมจะทำให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินทั้งบนบกและในทะเล จากการวัดความเร็วลมในขณะที่มีพายุหมุนเขตร้อนพบว่า ความเร็วลมจะมากที่สุดทางด้านขวามือของทิศทางการเคลื่อนที่ ทั้งนี้เพราะว่าทางด้านนี้ทั้งทิศทางการเคลื่อนที่และทิศทางลมเป็นไปในทางเดียวกัน ส่วนทางด้านซ้ายมือความเร็วลมจะน้อยเพราะทิศทางการเคลื่อนที่และทิศทางลมจะสวนกัน



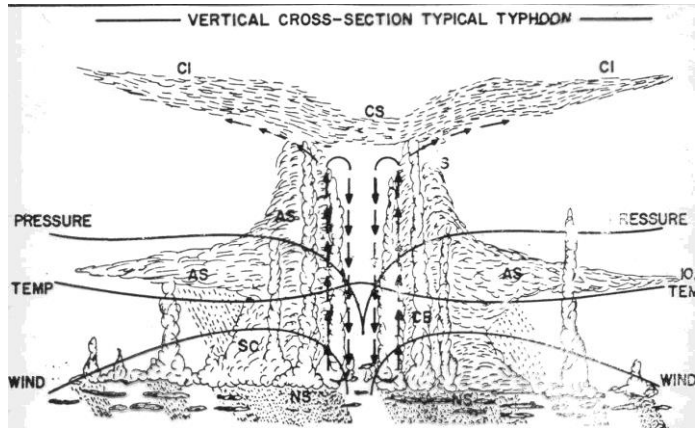
รูปที่ ๒-๓

ลักษณะเฉพาะบริเวณตาของพายุที่ผิวพื้น (Surface Characteristics of The Eye)

พายุหมุนเขตร้อนทั้งหมดจะมีศูนย์กลางที่เรียกว่า ตาของพายุ ตาของพายุได้ฝุ่นเป็นที่สนใจนักค้นคว้ามานานแล้ว และได้พบว่าในบริเวณตาของพายุได้ฝุ่น ปกติแล้วอากาศจะแจ่มใส ความเร็วลมอ่อนน้อยกว่า ๑๕ ไมล์ต่อชั่วโมง ความเร็วจะสงบ ณ ที่ตาของพายุ อุณหภูมิภายในตาของพายุมักจะไม่ได้ติดกับบริเวณภายนอก แต่เนื่องจากแสงอาทิตย์ส่องตาของพายุได้จึงอาจจะอุ่นกว่า บางครั้งภายในตาของพายุอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) จะลดอย่างรวดเร็ว



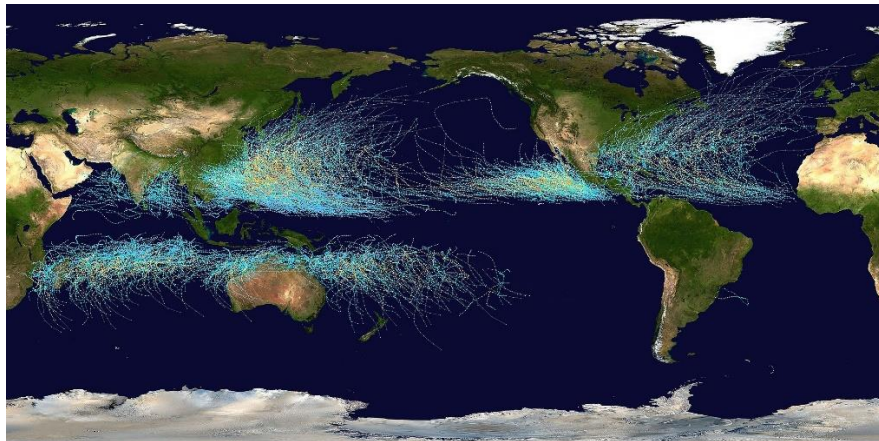
รูปที่ ๒-๔



รูปที่ ๒-๕

จากโครงสร้างของพายุไต้ฝุ่นในทางดิ่ง จะพบว่าพายุไต้ฝุ่นในชั้นเจริญเติบโตเต็มที่จะสามารถสูงถึงชั้นโทรโพพอส (Tropopause) แต่ความจริงแล้วกระแสอากาศเบื้องสูง จะไหลออกในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ส่วนเบื้องล่างจะไหลเข้าในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ปรากฏการณ์ที่เกิดกระแสอากาศไหลออกทางเบื้องบนนี้จะเป็นการทำให้พายุไต้ฝุ่นระบายความร้อนออกดังที่กล่าวแล้ว

อาณาบริเวณและฤดูที่พายุหมุนเขตร้อนเกิด



รูปที่ ๒-๖

พายุหมุนเขตร้อนยังไม่เคยปรากฏว่าเกิดขึ้นบริเวณ ตอนกลางของมหาสมุทรแปซิฟิกเหนือ มหาสมุทรแอตแลนติกตอนใต้ ด้านตะวันออกของลองกิจูด ๑๔๐ องศาตะวันตกในมหาสมุทรแปซิฟิกตอนใต้ เนื่องจากว่าในฤดูร้อนของซีกโลกใต้ ร่องมรสุมมักจะเลื่อนลงไปต่ำกว่าเส้นศูนย์สูตรประมาณ ๔ องศา เท่านั้น ซึ่งไม่ไกลพอที่จะทำให้แรงคอริโอลิสมีบทบาทให้เกิดพายุหมุนเขตร้อน ตามรูปที่ ๒-๖

การเคลื่อนที่ของพายุหมุนเขตร้อน

การเคลื่อนที่ของพายุหมุนเขตร้อนนั้น ความเร็วในการเคลื่อนที่ของพายุหมุนเขตร้อนจะมีความเร็วในการเคลื่อนที่เฉลี่ยประมาณ ๑๐-๑๒ นอต ทิศทางการเคลื่อนที่ของพายุหมุนในซีกโลกเหนือจะเคลื่อนที่ไปในแนวตะวันตกหรือตะวันตกเฉียงเหนือ จนกระทั่งถึงละติจูดที่ ๒๕-๓๐ องศาเหนือ จะเป็นบริเวณที่พายุหมุนเขตร้อนจะค่อย ๆ เปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ไปทางเหนือและเบี่ยงเบนไปทิศตะวันออก ขณะเดียวกันความเร็วในการเคลื่อนที่ก็เพิ่มขึ้นด้วย

บทที่ ๓

ขีดจำกัดของทัศนวิสัย (Restrictions to Visibility)

ในทางอุตุนิยมวิทยากำหนดว่า ทัศนวิสัย หมายถึง ระยะไกลสุดที่สามารถมองเห็นและระบุเป้าหมายได้ในเวลากลางวัน หรือระยะไกลที่สุดที่สายตาสีสามารถมองเห็นแสงไฟที่มีแสงไฟปกติได้ในเวลากลางคืน การตรวจค่าทัศนวิสัยจะกระทำเป็นลำดับสุดท้ายของการตรวจสอบอุตุนิยมวิทยาภายนอกสถานี่

ทัศนวิสัยที่มีผลกระทบต่อการบิน แบ่งเป็น ๓ อย่าง คือ

๑. ทัศนวิสัยที่ผิวพื้นในทางระดับหรือทัศนวิสัยที่พื้นดิน (Horizontal surface Visibility or Ground Visibility) หมายถึง ความสามารถในการมองเห็นวัตถุด้วยตาเปล่าที่ระดับผิวพื้น

๒. ทัศนวิสัยขณะบินหรือทัศนวิสัยอากาศสู่อากาศ (Flight Visibility or Air to Air Visibility) หมายถึง ความสามารถในการมองเห็นวัตถุด้วยตาเปล่าขณะอยู่ในอากาศ

๓. ทัศนวิสัยในทางเฉียงหรือทัศนวิสัยตามแนวร่อน (Slant range or Pilot Visibility along glide path) หมายถึง ความสามารถในการมองเห็นวัตถุด้วยตาเปล่าในทางเฉียง

ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าทัศนวิสัย

คือสิ่งที่ปิดบังการมองเห็นนั่นเอง ชนิดและความรุนแรงของสิ่งปิดบังจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการทรงตัว (stability) ของมวลอากาศเป็นส่วนใหญ่ สำหรับอากาศที่มีการทรงตัวดี (stable) เหมาะที่จะทำให้เกิดหมอก และเมฆต่ำ ๆ หรือฝนปรอย ๆ ซึ่งทำให้ทัศนวิสัยเสียไป นอกจากนี้หมอกแดดก็มักจะเกิดขึ้นในอากาศที่มีการทรงตัวดีเช่นกัน ในทางตรงกันข้ามถ้าอากาศมีการทรงตัวไม่ดี (unstable) จะมีอากาศไหลขึ้นในทางตั้งซึ่งเป็นตัวการที่ทำให้หมอกสลายไป หรือยกตัวสูงขึ้นเป็นเมฆ ทำให้หมอกแดดและควันหายไปด้วย 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)

ควันและฟ้าหลัว (smoke and haze)

ฝุ่นละอองและทราย (dust and sand)

อนุภาคเกลือ (Salt particles)

๑. หมอก และหมอกบาง (Fog and Mist)

หมอก (Fog) หมายถึง ละอองน้ำเล็ก ๆ ที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ เกิดตั้งแต่ระดับผิวพื้นขึ้นไป ซึ่งโดยทั่วไปเป็นสาเหตุทำให้ทัศนวิสัยในทางระดับผิวพื้นลดลงต่ำกว่า ๑,๐๐๐ เมตร ถ้าทัศนวิสัยเท่ากับหรือมากกว่า ๑,๐๐๐ เมตร เรียกว่า หมอกบาง (mist)

๑.๑ การเกิดหมอก หมอกเกิดจากการกลั่นตัวของไอน้ำเป็นหยดน้ำ แล้วแขวนตัวลอยอยู่ในอากาศโดยอยู่ใกล้กับพื้นดินหรือสูงไม่เกิน ๕๐ ฟุต ซึ่งมีการเกิดดังนี้

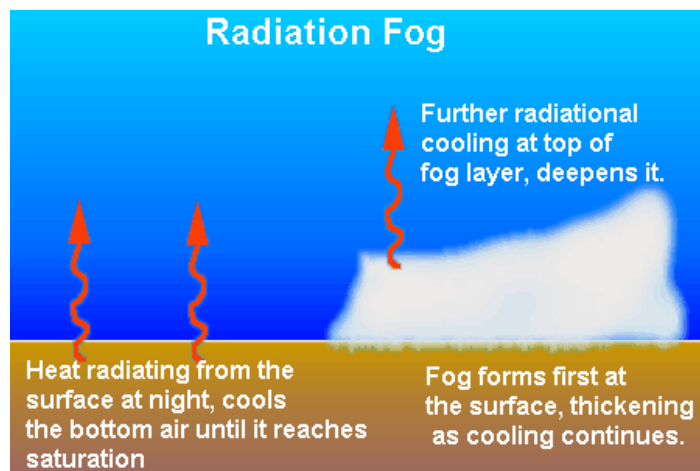
๑.๑.๑ การเย็นลงของอากาศ คือการทำให้อุณหภูมิจากอากาศลดลงเท่ากับอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ($T = T_d$) เช่น การเย็นลงโดยการแผ่รังสีออก (Radiation cooling) และการสัมผัสพื้นผิวที่เย็นกว่าโดยการนำ (conduction) และการพา (convection) โดยเฉพาะของไหล

๑.๑.๒ การเพิ่มความชื้นให้กับอากาศ (Supply of humidity) เพื่อให้ให้อุณหภูมิของจุดน้ำค้างสูงขึ้นเท่ากับอุณหภูมิของอากาศ เช่นการที่อากาศพัดผ่านน่านน้ำมาสู่พื้นที่ที่แห้งกว่าเพื่อเป็นการเพิ่มความชื้นให้กับ การระเหยของน้ำเข้าไปในอากาศ

๑.๒ การแบ่งหมอก หมอกแบ่งออกได้ดังนี้

๑.๒.๑ หมอกที่เกิดจากการเย็นตัวของอากาศ (Cooling fog) โดยปกติมักจะเกิดภายในมวลอากาศ บางทีเรียกว่าหมอกในมวลอากาศ (Air - mass fog) และยังแบ่งย่อยออกไปอีกได้ดังนี้

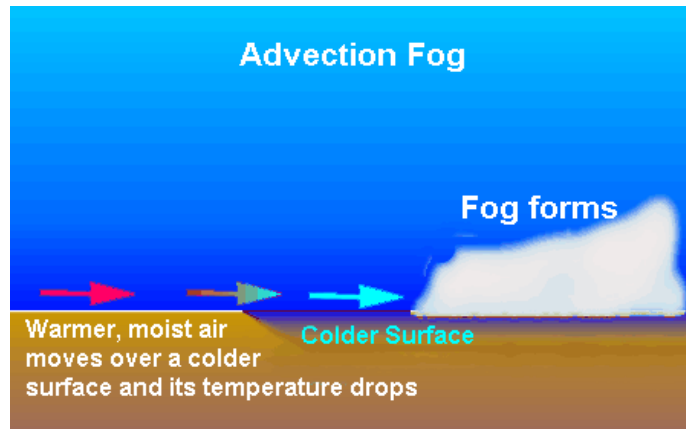
๑.๒.๑.๑ หมอกที่เกิดจากการแผ่รังสี (Radiation fog) หมอกชนิดนี้เกิดขึ้นเนื่องจากผลของการเย็นลงในเวลากลางคืน (Nocturnal cooling) คือพื้นดินแผ่รังสีออกได้ดีกว่าอากาศ ทำให้พื้นดินเย็นลง อากาศที่สัมผัสกับพื้นดินจะเย็นลงด้วย จนไอน้ำเกิดการกลั่นตัวเป็นหมอก ในกรณีที่ลมสงบหรือลมอ่อนความเร็วลมต่ำกว่า ๕ นอต หมอกจะปกคลุมพื้นดินในระดับต่ำ ๆ เท่านั้น ถ้าความเร็วลมตั้งแต่ ๕ นอต จะคลุกเคล้าให้ชั้นของอากาศเย็นหนากว่ากรณีแรก จะทำให้หมอกขยายปกคลุมสูงขึ้นไปอีก หมอกจะเกิดได้ดีจะต้องมีความชื้นสูง (High humidity) การแผ่รังสีของพื้นดินดี และท้องฟ้าต้องโปร่ง (Clear sky)



รูปที่ ๓-๑

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

๑.๒.๑.๒ หมอกที่เกิดจากอากาศไหลทับพื้นผิวที่เย็นกว่านี้ เกิดจากการเคลื่อนที่ของอากาศในทางระดับ ในกรณีที่อากาศอุ่นเคลื่อนที่เข้าไปทับพื้นน้ำที่เย็นกว่า หมอกที่เกิดขึ้นจะหนามาก แม้ความเร็วลมจะสูงถึง ๑๕ นอต ก็ตาม เมื่อความเร็วลมมากกว่า ๑๕ นอต ผลอันเนื่องจากการเสียดอากาศปั่นป่วนมักจะยกให้หมอกกลายเป็นเมฆสเตรตัส (Stratus)

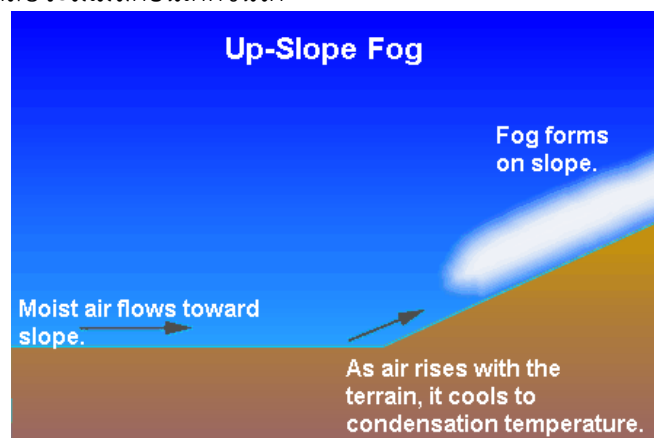


รูปที่ ๓-๒

หมอกที่เกิดจากอากาศไหลทับพื้นผิวที่เย็นกว่านี้ ในฤดูหนาวเกิดขึ้นเนื่องจากเมื่ออากาศอุ่นและมีความชื้นมากจากพื้นน้ำไหลไปยังพื้นดินที่เย็นกว่า (Warm air advection) อากาศอุ่นและมีความชื้นทับอยู่ข้างบนจะถูกทำให้เย็นลงอยู่เบื้องล่าง ผลก็คือทำให้เกิดหมอก หมอกที่เกิดบนพื้นดิน เช่นนี้เราเรียกว่า หมอกบก (Land fog)

ในฤดูร้อนพื้นน้ำที่เย็นกว่าพื้นดินจะทำให้เกิดหมอกขึ้น โดยที่อากาศอุ่นและชุ่มชื้นจากพื้นดินไหลมาทับพื้นน้ำที่เย็นกว่า เกิดหมอกขึ้นในทะเล เราเรียกว่า หมอกทะเล (Sea fog) ถ้าอุณหภูมิของอากาศอุ่นแตกต่างจากอุณหภูมิของน้ำมาก ๆ หมอกจะหนาตามไปด้วย ความเร็วลมที่จะทำให้เกิดหมอกทะเลนี้ไม่จำเป็นจะต้องเป็นลมเบาๆ เหมือนกับหมอกพื้นดิน เพราะว่าพื้นน้ำมีแรงเสียดทานน้อยมาก บางครั้งหมอกชนิดนี้เกิดขึ้นเมื่อความเร็วลมสูงถึง ๒๖ นอต ก็มี แต่จะพบมากที่สุดคือความเร็วลมระหว่าง ๔ - ๑๓ นอต เมื่อหมอกทะเลเคลื่อนตัวเข้าหาฝั่งในเวลากลางวัน ซึ่งขณะนั้นพื้นดินกำลังร้อนอยู่จะทำให้หมอกสลายตัวเมื่อถึงพื้นดิน และกลายเป็นเมฆสเตรตัสซึ่งจะพบมากในประเทศอังกฤษ

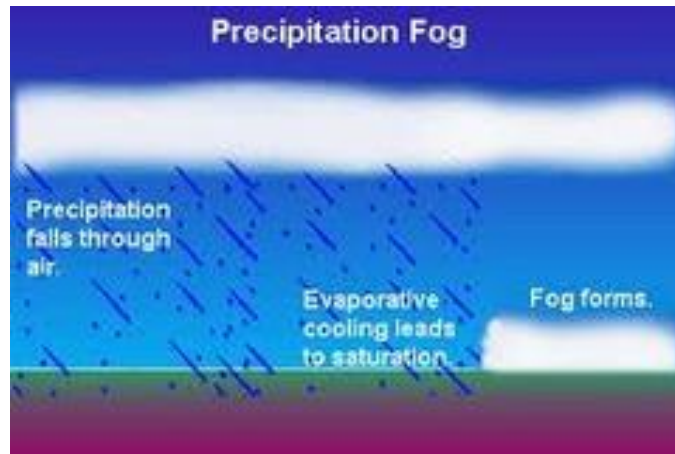
๑.๒.๑.๓ หมอกที่เกิดจากอากาศไหลขึ้นตามลาดเขา (Upslope fog or Orographic fog) หมอกชนิดนี้จะเกิดขึ้นเมื่ออากาศมีการทรงตัวดีเคลื่อนที่ขึ้นไปตามลาดภูเขา อากาศจะเย็นตัวลงตามอะเดียเบติก (Adiabatic cooling) แล้วหมอกก็จะเกิดขึ้นเมื่ออากาศเย็นลงถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้าง แต่อากาศจะต้องมีความชื้นมาก หมอกชนิดนี้ก็ยังคงมีอยู่แม้ความเร็วลมจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ถ้าหากลมแรงมากจะทำให้หมอกยกตัวเป็นเมฆสเตรตัสหรือสเตรโตคิวมูลัส (Stratocumulus) ได้ ถ้าอากาศนั้นมีการทรงตัวไม่ดี แทนที่จะเกิดเป็นหมอกกลับจะมีเมฆก้อนเกิดขึ้นได้



รูปที่ ๓-๓

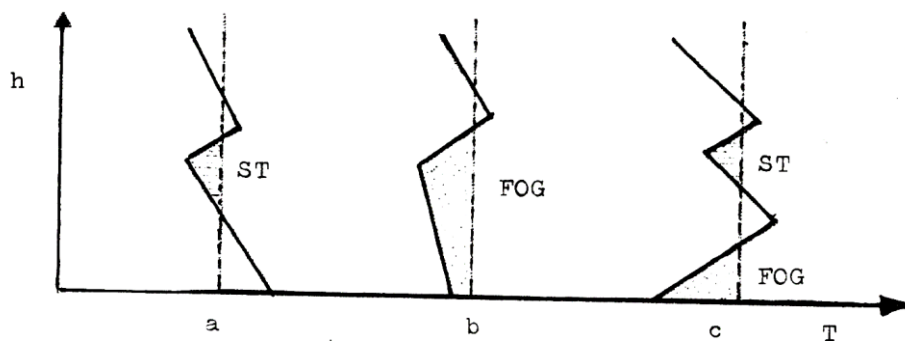
๑.๒.๒ หมอกที่เกิดจากการระเหย (Evaporation fog) เรียกว่า หมอกระเหย ซึ่งแบ่งได้ดังนี้

๑.๒.๒.๑ หมอกในแนวปะทะอากาศ (Frontal fog) หรือเรียกว่า หมอกฝน (Rain fog) เป็นหมอกที่เกิดจากการกลายเป็นไอ (Evaporation fog) เมื่อฝนตกผ่านชั้นของอากาศซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของเมฆฝน อากาศที่อยู่ติดกับเมฆฝนจึงอุ่น การกลายเป็นไอของเมฆฝนเป็นการเพิ่มไอน้ำให้กับอากาศ แล้วอากาศนี้จะปะปนกับอากาศเย็นรอบ ๆ เป็นผลทำให้อากาศมีไอน้ำสะสมจนกระทั่งอิ่มตัว (saturate) จากนั้นจึงเกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ (condensation) จึงทำให้เกิดหมอก หรือเมฆสเตรตัส ตามรูปที่ ๓-๔



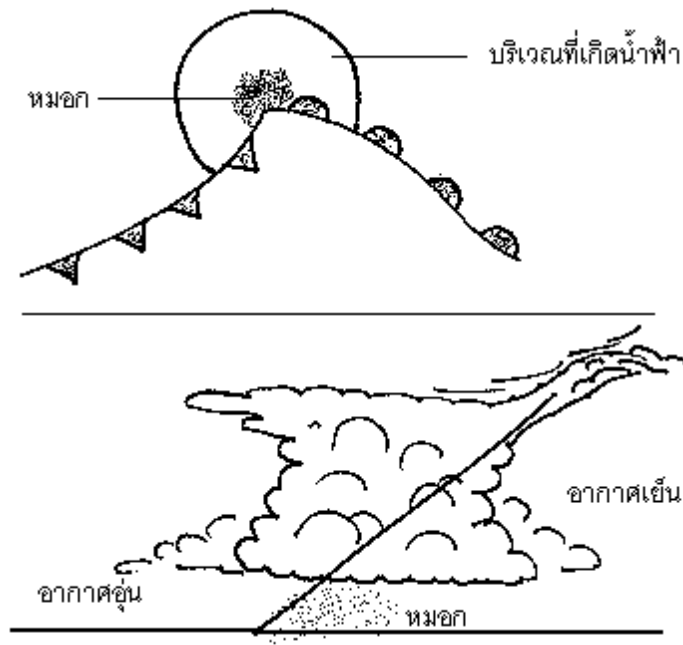
รูปที่ ๓-๔

จากรูปแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในทางตั้งของอากาศขณะที่ฝนตกลงมาจากจุด A เมฆสเตรตัสหรือหมอกจะเกิดขึ้นในระดับที่อุณหภูมิของอากาศเย็นกว่าอุณหภูมิของเมฆฝน



รูปที่ ๓-๕

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



รูปที่ ๓-๖

๑.๒.๒.๒ หมอกไอน้ำ (Steam fog) โดยทั่วไปจะเกิดในเขตอบอุ่นระหว่างฤดูใบไม้ร่วงถึงต้นฤดูหนาว ในขณะที่น้ำยังคงอุ่นอยู่และอากาศเย็นจากพื้นดินเคลื่อนตัวมาซ้อนทับ หมอกชนิดนี้เป็นหมอกที่เกิดจากการไม่ทรงตัวของอากาศ (Unstable type fog) เมื่อมีการระเหยกลายเป็นไออย่างหนาแน่นจากผิวน้ำเข้าสู่อากาศที่เย็นกว่า จึงเกิดการกลั่นตัวขึ้นอย่างรวดเร็วภายใต้ชั้นการเพิ่มอุณหภูมิตามระยะสูงเหนือผิวน้ำ โดยที่ขบวนการนี้อากาศจะต้องมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของน้ำมากๆ จึงมักจะเกิดการพาในทางตั้ง

ในฤดูหนาวเขตที่ได้รับอิทธิพลของมวลอากาศจากขั้วโลกเหนือ (Arctic air) มักจะเกิดหมอกชนิดนี้ขึ้นมาก หมอกจะยกตัวขึ้นจากพื้นน้ำบางที่เรียกว่า ควันทะเล (Sea smoke) ในบริเวณดังกล่าวหมอกจะแผ่ขยายสูงขึ้นไปถึง ๕,๐๐๐ ฟุต ทำให้เกิดเมฆคิวมูลัส (Cumulus) ที่มีฐานอยู่ติดกับพื้นน้ำ (เป็นลักษณะเฉพาะที่เกิดขึ้นในบริเวณนี้)

๒. เมฆ และน้ำฟ้า (Cloud and Precipitation)

เมฆ คือไอน้ำที่กลั่นตัวแล้วรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนลอยอยู่ในอากาศ อาจมีสภาพเป็นหยดน้ำเล็ก ๆ หรือเป็นน้ำแข็งเล็ก ๆ (Ice particle) การเกิดเมฆแต่ละชนิดจะสัมพันธ์กับสภาวะของความชื้นในอากาศอยู่มาก การกลั่นตัวของความชื้นในอากาศที่ทำให้เกิดเป็นเมฆชนิดต่าง ๆ นั้นขึ้นอยู่กับจำนวนไอน้ำเป็นสำคัญ ทศณวิสัยในเมฆจะลดลงเนื่องมาจากหยดน้ำในก้อนเมฆ และยังขึ้นอยู่กับชนิดของเมฆด้วย ในเมฆชั้นสูงโดยทั่ว ๆ ไปทศณวิสัยมากกว่า ๑,๐๐๐ เมตร ในเมฆชั้นกลางจะอยู่ระหว่าง ๑,๐๐๐-๒๐ เมตร สำหรับเมฆชั้นต่ำปกติจะน้อยกว่า ๓๐ เมตร ยกเว้นเมฆก่อตัวทางตั้งขนาดใหญ่ (Towering cumulus) และเมฆคิวมูโลนิมบัส (Cumulonimbus) บางครั้งอาจต่ำกว่า ๑๐ เมตร และถึงศูนย์ได้ในเมฆที่หนาแน่นมาก ๆ เมฆที่มีฐานต่ำ เช่น เมฆสเตรตัสจะเป็นอุปสรรคมากในการลงสนามของอากาศยาน

น้ำฟ้า (Precipitation) คือ ผลจากการกลั่นตัวของไอน้ำและตกลงมาผ่านชั้นบรรยากาศ จะมีลักษณะรูปร่างแตกต่างกันไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่ทำให้เกิดน้ำฟ้า โดยทั่วไปน้ำฟ้าเกิดจากการเคลื่อนตัวขึ้นลงในก้อนเมฆอย่างรวดเร็ว จนทำให้ความชื้นในก้อนเมฆเกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำตกลงสู่พื้นโลก ลักษณะของน้ำฟ้าที่สำคัญนั้นมีอยู่หลายชนิด เช่น

๒.๑ ฝน (Rain) เป็นน้ำฟ้าซึ่งมีภาวะเป็นของเหลว เกิดเมื่อละอองไอน้ำในก้อนเมฆจำนวนมาก รวมตัวกันเป็นหยดน้ำมีขนาดใหญ่ ไม่อาจลอยตัวอยู่ในอากาศต่อไปได้อีก ก็จะตกลงมาเป็นฝน ซึ่งมีฝนละออง (drizzle) ฝนธรรมดา (rain) และฝนฟ้าคะนอง (thundershower) ทศวินิสิย์ในฝนนั้นจะลดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิด ความรุนแรง และขนาดของเม็ดฝน โดยทั่วไปทศวินิสิย์ในฝนจะมากกว่า ๑ ไมล์ ยกเว้นกรณีฝนตกหนัก

๒.๒ หิมะ (Snow) เป็นน้ำฟ้าที่เป็นเกล็ดน้ำแข็ง ส่วนมากจะเป็นแฉกๆ หิมะประกอบด้วยมวลเกล็ดน้ำแข็งอันเกิดจากการกลั่นตัวของไอน้ำในอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง หากใช้วัตถุสีดำเรียบรองรับแล้วเอาแว่นขยายมาส่องดู จะสังเกตเห็นเกล็ดของน้ำแข็งแต่ละเกล็ดมีรูปร่างตั้งแต่หกเหลี่ยมรูปแบนราบ รูปปริซึม และรูปร่างอื่น ๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นในขณะเกิดหิมะ ทศวินิสิย์ในหิมะนั้นจะลดลงต่ำกว่าในฝนมาก เพราะหิมะทึบแสง สายตาจึงไม่สามารถมองผ่านเกล็ดหิมะได้ บางครั้งทศวินิสิย์ลดลงถึงศูนย์ในหิมะหนัก

๒.๓ ลูกเห็บ (Hail) ประกอบด้วยก้อนน้ำแข็งเล็กๆ กลมๆ โครงสร้างภายในก้อนน้ำแข็งที่ประกอบเป็นลูกเห็บจะมีลักษณะกลมเป็นชั้นซ้อนกันคล้ายหัวหอม ปกติน้ำแข็งที่ตกลงมาเป็นลูกเห็บ ส่วนใหญ่จะมองเห็นเป็นสีขาวขุ่น บางครั้งลูกเห็บตกลงมา มีขนาดใหญ่ มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด ๐.๒-๒ นิ้ว ก็มี (๐.๕-๕ เซนติเมตร) เรียกลูกเห็บชนิดนี้ว่า Hailstones ลูกเห็บชนิดนี้เวลาตกลงมา อาจทำให้พืชพันธุ์และสิ่งก่อสร้างเสียหายได้

ลูกเห็บที่ตกลงสู่พื้นดินเกิดจากเมฆคิวมูโลนิมบัสเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากภายในก้อนเมฆคิวมูโลนิมบัสมีกระแสไหลขึ้นอย่างแรง ทำให้หยดน้ำภายในก้อนเมฆถูกพัดพาขึ้นสู่เบื้องบนในระดับสูง จนหยดน้ำเย็นจัดกลายเป็นก้อนน้ำแข็งและตกลงมาสู่เบื้องล่างภายในก้อนเมฆ ต่อมาก้อนน้ำแข็งนี้จะถูกพัดสู่เบื้องบนอีกเป็นเช่นนี้อยู่หลายรอบจนกระทั่งมีขนาดใหญ่ขึ้นจนหนัก จึงตกลงมาเป็นลูกเห็บ

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

ขณะที่ความเร็วลมเพิ่มขึ้นเหนือทะเล ยอดของคลื่นจะสูงขึ้นและผลสุดท้าย ฝอยน้ำ (spray) จะเริ่มก่อตัวจากคลื่นหัวแตกด้วยลมที่แรงขึ้น การพุ่งขึ้นของฟองจะถูกพัดพาเข้าไปในอากาศ เมื่อใดที่ความเร็วลมแรงขึ้นถึงขนาดพายุกล้า (Strong gale) คือมีความเร็ว ๔๑-๔๗ นอต (๗๕-๘๘ กิโลเมตรต่อชั่วโมง) ฝอยน้ำจะเริ่มกระทบกระเทือนต่อทศวินิสิย์ที่ผิวพื้น ผลของมันจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วลม และเมื่อลมมีความเร็วถึงขนาดได้ฟูน ๖๔ นอต ขึ้นไป (๑๑๘ กิโลเมตรต่อชั่วโมง) ทศวินิสิย์จะลดลงอย่างมาก การลดของทศวินิสิย์ที่เกิดขึ้นโดยฝอยน้ำจากทะเลจะมีผลกระทบต่อชายฝั่งด้วย เมื่อมีลมพัดเข้าหาฝั่ง (On shore wind)

๔. อนุภาคของน้ำมันในบรรยากาศ (Oil particles in the atmosphere)

ทศวินิสิย์ในนครใหญ่ๆ บางแห่งอาจจะลดลงโดยการปรากฏของอนุภาคน้ำมันในอากาศได้บ้าง น้ำมันจากยานยนต์เป็นต้นเหตุสำคัญของอนุภาคเหล่านี้ ในนครใหญ่ ๆ ได้ให้ความสนใจเป็นอย่างมากต่อการคิดค้นหาวิธีที่จะลดมลภาวะในอากาศ (Air pollution) ซึ่งเกิดขึ้นโดยอนุภาคของน้ำมันที่เข้าสู่อากาศจากแหล่งอุตสาหกรรมและจากยานยนต์

๕. คว้นและฟ้าหลัว (Smoke and Haze)

คว้นทำให้ทศวินิสิย์ลดลงไปในบริเวณที่มีอากาศสงบนิ่ง (stable) มากๆ จัดว่าเป็นมลภาวะ (pollution) อย่างหนึ่ง

คว้นเกิดจากการเผาไหม้ โดยเฉพาะในโรงงานอุตสาหกรรม อนุภาคของคว้นมักมีขนาดใหญ่จึงหนักและเกิดมากในระดับต่ำ ๆ ในฤดูหนาวที่อากาศมีการทรงตัวดี คว้นจะถูกจำกัดไม่ให้ลอยสูงขึ้นไปถึงเขวนลอยอยู่ในอากาศ คว้นจะจางหายไปเมื่ออากาศไม่ทรงตัวหรือมีกระแสอากาศปั่นป่วนรุนแรง (Strong turbulence) การปิดบังทศวินิสิย์จะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับ

๕.๑ อัตราการเกิดของคว้น

๕.๒ อัตราการฟุ้งกระจายเนื่องมาจากลม และกระแสอากาศปั่นป่วนทั้งในทางตั้งและทางระดับ

๕.๓ ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดของควัน ถ้าระยะห่างน้อยควันจะปิดบังทัศนวิสัยมาก

ควันจะปิดบังได้มากในเวลากลางคืนเพราะไม่มีการพาในทางตั้ง (convection) ในกรณีที่มีลมไม่แรงนัก ควันจะทำให้ทัศนวิสัยลดลงได้ต่ำกว่า ๒ กิโลเมตร ในกรณีที่เป็นพวกควันที่เกิดจากสารดูดความชื้น (Hygroscopic) จะทำให้ทัศนวิสัยลดลงได้มากกว่าควันที่เกิดจากสารที่ไม่ดูดความชื้น (Non-hygroscopic) เพราะจะเกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำได้ง่ายขึ้น ในกรณีนี้การมีหมอกเกิดขึ้นร่วมกับควันเรียกว่า หมอกปนควัน (smog) ถ้าก่อตัวหนาแน่น ๆ จะปิดบังแสงอาทิตย์ได้ สามารถสัมผัสได้โดยการดมกลิ่น

ฟุ้งหรือหมอกแดดเป็นอนุภาคเล็ก ๆ ของสิ่งเจือปนที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ (impurities) เช่น ควัน, ฝุ่นละออง, อนุภาคของผงเกลือ จะเกิดขึ้นในสภาวะอากาศทรงตัวดี ปกติจะมีความหนา ๒,๐๐๐-๓,๐๐๐ ฟุต แต่บางครั้งแผ่สูงขึ้นไปถึง ๑๕,๐๐๐ ฟุต จากผิวพื้น ทัศนวิสัยทางระดับเหนือชั้นของหมอกแดดจะดี เมื่อเกิดฟุ้งหรือหมอกแดด ท้องฟ้าจะเป็นฟ้าขาว ๆ ฟุ้งที่เกิดจากอนุภาคเกลือจะมีสีขาว ในประเทศไทยฟุ้งจะเกิดขึ้นหนาแน่นในเดือน ก.พ. - มี.ค.

๖. ฝุ่นและทราย (Dust and Sand)

ฝุ่นและทรายถูกยกขึ้นไปเหนือพื้นดินโดยกระแสลมได้สูงเพียงใด ขึ้นอยู่กับขนาด และสภาวะทางอุตุนิยมวิทยา จะทำให้ปิดบังทัศนวิสัยได้ เช่น ความเร็วลม กระแสอากาศปั่นป่วน และการทรงตัวของอากาศ ฯลฯ ในกรณีที่ทัศนวิสัยลดลงต่ำกว่า ๑ กิโลเมตร ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้จะเป็นพายุฝุ่นหรือพายุทราย (Duststorm or Sandstorm) โดยทั่ว ๆ ไปฝุ่นจะปิดบังทัศนวิสัยได้มากกว่าทราย อนุภาคของทรายจะถูกยกสูงไม่เกิน ๒๐ - ๓๐ เมตร แต่ฝุ่นจะไม่จำกัดความสูง สภาพที่เอื้ออำนวยให้เกิดพายุฝุ่นและพายุทราย คือ ผิวดินจะต้องแห้ง ความเร็วลมมากพอสมควร อากาศไม่ทรงตัว และมีการเคลื่อนตัวในทางตั้ง (Vertical motion) อย่างแรง

๗. อนุภาคเกลือ (Salt particles)

อนุภาคเกลือส่วนมากจะเกิดขึ้นตามชายฝั่งทะเล บางครั้งอาจจะถูกพัดพาเข้าไปบนพื้นดินได้ไกลๆ โดยเฉพาะในฤดูแล้ง หลังจากถูกพัดพาไปแล้ว ioni ระเหยไปทำให้เหลือแต่อนุภาคเกลือ อนุภาคนี้จะเป็นแกนกลางในการกลั่นตัว (Condensation nuclei) ถ้าในเวลาต่อมาอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์เพียง ๗๐ เปอร์เซ็นต์ หรือมากกว่า อนุภาคเกลื่อดังกล่าวก็จะสามารถช่วยให้ไอน้ำในอากาศกลั่นตัวเป็นหยดน้ำได้ แล้วแขวนลอยอยู่ในอากาศเป็นฟุ้งชื้น (moist or damp haze) มักจะเกิดขึ้นในเมืองใหญ่ ๆ ที่มีอากาศสกปรก ในกรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ อนุภาคเกลือที่แขวนตัวอยู่ในอากาศจะแห้งทำให้เกิดฟุ้งแห้ง (dry haze)

บทที่ ๔

ลมพัดตัดกันในระดับต่ำ (Low Level Wind Shear)

๑. กล่าวทั่วไป

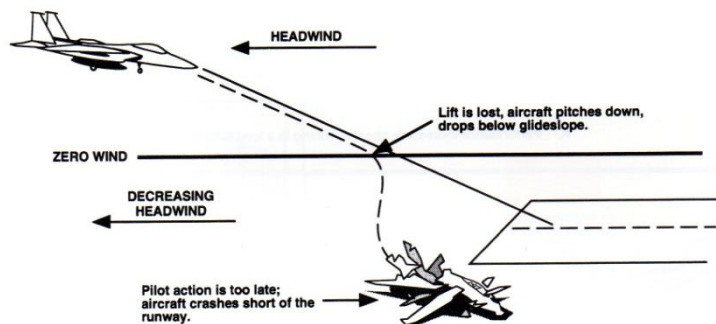
ลมพัดตัดกัน (Wind shear) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงความเร็ว และ/หรือ ทิศทางอย่างทันทีทันใดในช่วงเวลาสั้น ๆ ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งทางแนวตั้งและทางระดับ

แม้ว่าลมพัดตัดกันจะสามารถเกิดขึ้นได้ทุกระดับความสูง แต่จะมีอันตรายอย่างยิ่งเมื่อเกิดในระดับความสูงไม่เกิน ๒,๐๐๐ ฟุตเหนือพื้นดินในระหว่างการวิ่งขึ้นและร่อนลง เนื่องจากอากาศยานทำการบินด้วยความเร็วเหนืออัตราวิ่งหล่นเล็กน้อย และการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันของทิศทางและความเร็วลมมีผลทำให้อากาศยานสูญเสียแรงยกได้ ถ้าการสูญเสียแรงยกดังกล่าวมีมากจนกระทั่งกำลังเครื่องยนต์ไม่เพียงพอ อากาศยานจะสูญเสียระยะสูงและตกลงสู่พื้นดิน ซึ่งในระยะสูงดังกล่าวนั้น นักบินจะต้องทำการแก้ไขอย่างถูกต้องและรวดเร็ว เพื่อป้องกันอุบัติเหตุซึ่งจะเกิดขึ้นจากสาเหตุดังกล่าว

๒. Performance decreasing shear

เมื่ออากาศยานทำการบินไปยังบริเวณที่ความเร็วของกระแสลมด้านลดลงในช่วงเวลาสั้นๆ ความเร็วสัมพัทธ์ของอากาศเหนือบริเวณปีกของอากาศยานจะลดลง และความเร็วขณะบินที่อ่านได้จากหน้าปัด (Indicated airspeed) จะลดลง เป็นผลทำให้แรงยกลดลงเช่นกัน มุมเงยของอากาศยานมีแนวโน้มลดต่ำลงเมื่อสถานการณ์ที่กระแสลมด้านลดลงนี้เกิดขึ้นจะเรียกว่า Performance decreasing

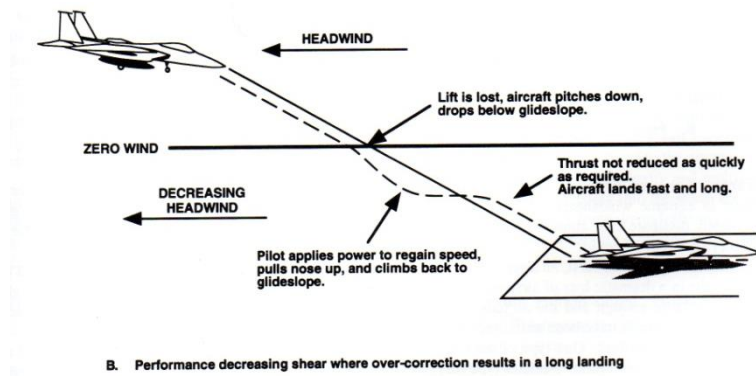
สถานการณ์ Performance decreasing shear นั้น จะเป็นอันตรายขณะที่อากาศยานวิ่งขึ้นและร่อนลงสู่สนามบิน ซึ่งอยู่ในช่วงที่สูญเสียแรงยก อากาศยานจะทำการบินด้วยความเร็วต่ำและอยู่ในระดับความสูงไม่มากนัก ในขณะที่มีแรงกดเพิ่มขึ้น จะเป็นผลทำให้ความเร็วของอากาศยานลดลง และเกิดอุบัติเหตุได้ ดังรูปที่ ๔-๑



A. Performance decreasing shear at an altitude too low for recovery

รูปที่ ๔-๑

เมื่อประสบกับลมพัดตัดกัน อากาศยานจะมีความเร็วลดลงและสูญเสียระยะสูง นักบินจะต้องเตรียมพร้อมที่จะเพิ่มกำลังเครื่องยนต์ เมื่อสังเกตเห็นหน้าปัดแสดงความเร็วของเครื่องเริ่มจะลดลง เมื่อความเร็วและแนวร่อนกลับคืนสู่สภาพปกติแล้ว การลดแรงผลัก (Thrust) อย่างเหมาะสมก็มีความจำเป็นในการทำการบินในสถานการณ์ดังกล่าว หากไม่ลดกำลังเครื่องยนต์ลง จะเป็นผลทำให้อากาศยานลงสู่สนามบินด้วยความเร็วสูงและใช้ทางวิ่งยาวขึ้น ดังรูปที่ ๔-๒

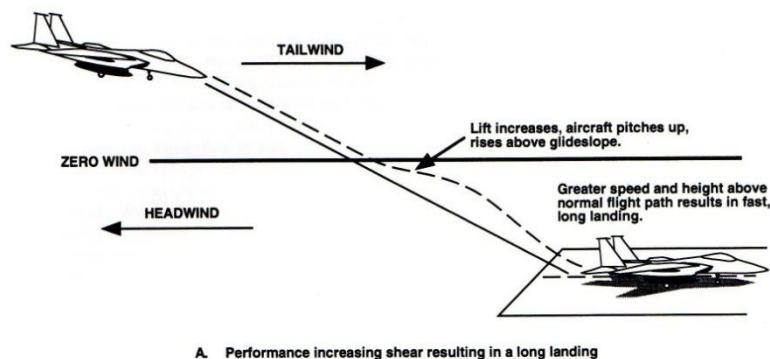


B. Performance decreasing shear where over-correction results in a long landing

รูปที่ ๔-๒

๓. Performance increasing shear

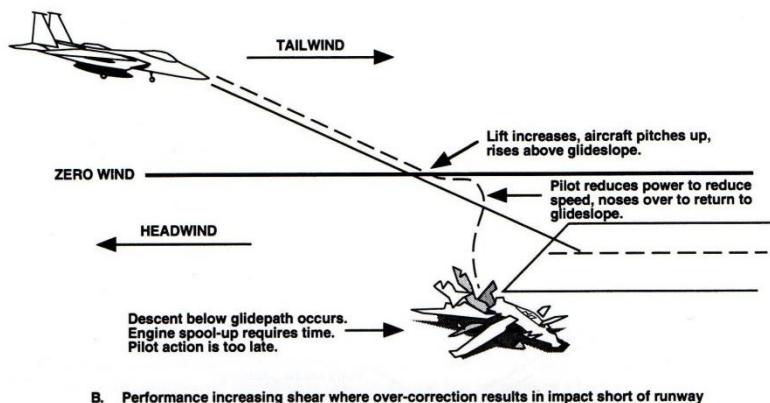
เมื่ออากาศยานทำการบินจากบริเวณที่มีกระแสลมส่งท้าย ไปยังบริเวณที่มีกระแสลมต้านในช่วงเวลาสั้นๆ ความเร็วสัมพัทธ์ของอากาศเหนือบริเวณปีกจะเพิ่มขึ้น, ความเร็วขณะบินที่อ่านได้จากหน้าปัดจะเพิ่มขึ้น, แรงยกเพิ่มขึ้น มุมเงยของอากาศยานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ลมพัดตัดกันที่เกิดขึ้นในลักษณะเช่นนี้เรียกว่า Performance increasing อันตรายที่เกิดขึ้นในลักษณะดังกล่าวจะทำให้อากาศยานใช้ทางวิ่งยาวกว่าปกติ ดังรูปที่ ๔-๓



A. Performance increasing shear resulting in a long landing

รูปที่ ๔-๓

ประกอบกับเมื่อขณะทำการร่อนลง จะประสบกับความเร็วของอากาศยานเพิ่มขึ้นอย่างทันทีทันใด ซึ่งนักบินจะต้องทำการแก้ไขโดยลดกำลังของเครื่องยนต์และมุมเงยของอากาศยานลง เพื่อรักษาแนวร่อนให้อยู่ในสภาพปกติ แรงผลักดันลงเป็นผลมาจากการลดกำลังของเครื่องยนต์ และความเร็วของกระแสลมต้าน ซึ่งผลที่เกิดขึ้นดังกล่าวถ้านักบินแก้ไขสถานการณ์ไม่ถูกต้องและทันเวลา ก็จะทำให้อากาศยานนั้นประสบอุบัติเหตุได้ ดังรูปที่ ๔-๔



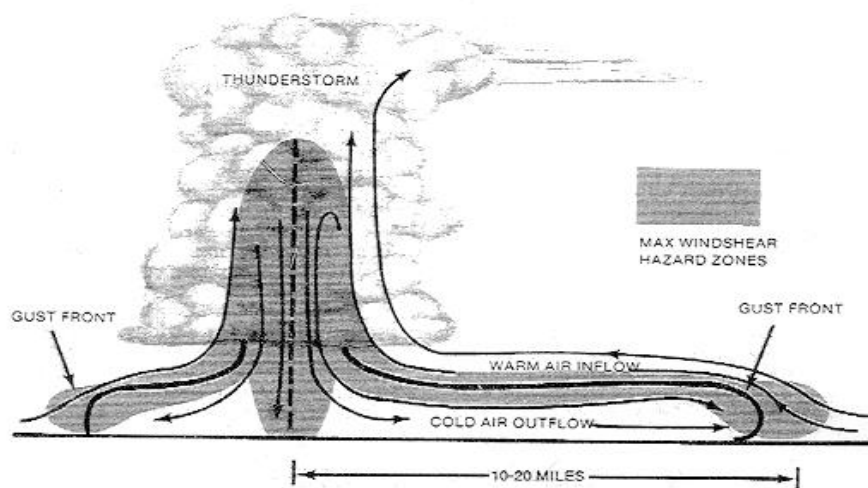
B. Performance increasing shear where over-correction results in impact short of runway

รูปที่ ๔-๔

๔. สภาพอากาศที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดลมพัดตัดกันในระดับต่ำ

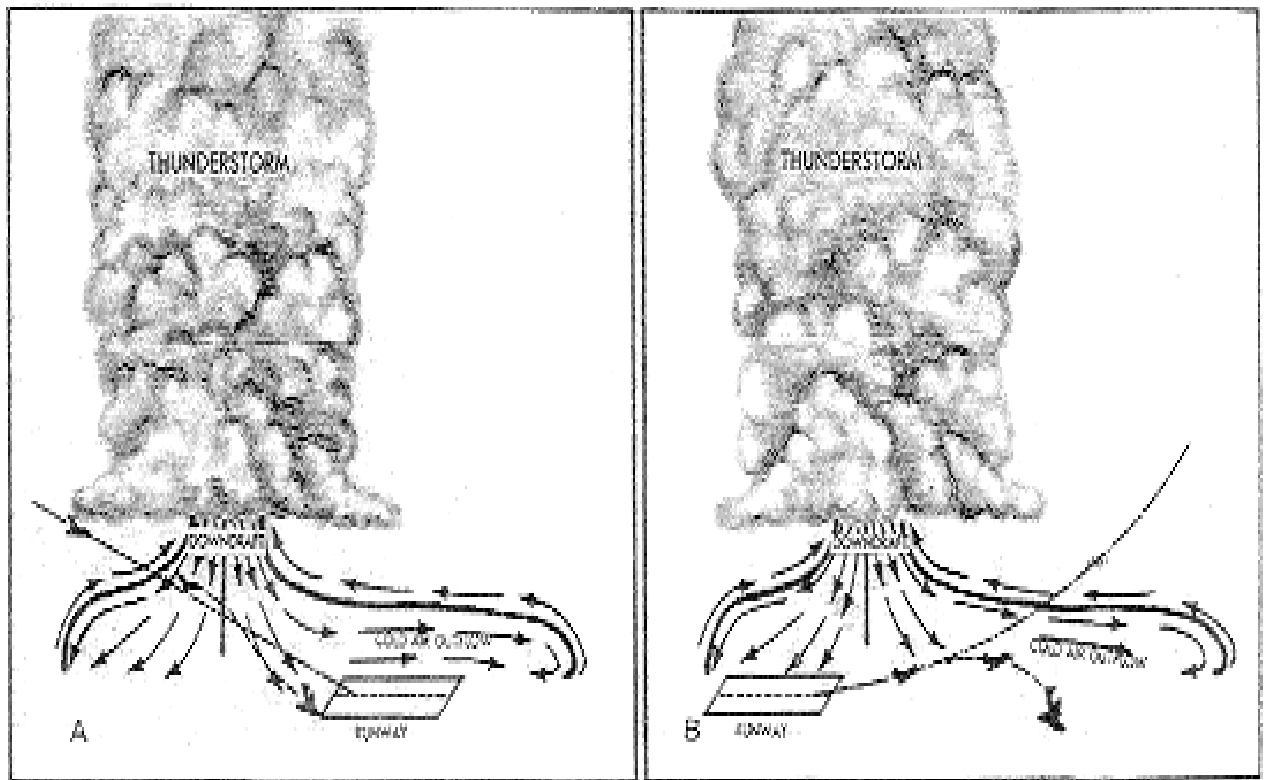
มีปรากฏการณ์ของสภาพอากาศหลายชนิดที่สามารถทำให้เกิดลมพัดตัดกันในระดับต่ำได้ เช่น พายุฟ้าคะนอง, Microbursts, แนวปะทะอากาศ, กระแสลมเจ็ตในระดับต่ำซึ่งเกิดเหนือชั้นอุณหภูมิกลับอันเนื่องมาจากการแผ่รังสี (Low level jets at the top of radiation inversion), ลมช่องเขา (Funneling wind) และ คลื่นภูเขา

๔.๑ พายุฟ้าคะนอง (Thunderstorm) ลมบริเวณภายในและรอบๆ พายุฟ้าคะนองนั้นมีทิศทางแตกต่างกัน ดังรูปที่ ๔-๕ โดยมีกระแสลมเย็นไหลลงพัดออกมาจากฐานของเมฆพายุฟ้าคะนอง โดยแผ่ไปทุกทิศทางก่อนที่จะเข้ามาใกล้พื้นผิวโลก และมีบริเวณของลมกระโชกอยู่ใกล้ๆ กับพายุฟ้าคะนอง แนวที่แบ่งระหว่างอากาศเย็นจากพายุฟ้าคะนองกับอากาศอุ่นเดิมที่ผิวพื้น เรียกว่า Gust front



รูปที่ ๔-๕

Gust front มักพบได้บ่อยๆ ที่สามารถแผ่ออกไปได้ไกลถึง ๑๐-๒๐ ไมล์ จากบริเวณที่เกิดพายุฟ้าคะนอง เคยตรวจพบลมพัดตัดกันวัดได้ในพื้นที่ที่ Gust front เคลื่อนตัวผ่าน มีค่า ๑๐ นอตต่อระยะสูง ๑๐๐ ฟุตในทางตั้ง ในขณะที่ลมพัดตัดกันในทางระดับมีค่า ๔๐ นอตต่อระยะทาง ๑ ไมล์ ในกรณีที่เกิดลมพัดตัดกันที่มีความรุนแรงมาก ส่วนใหญ่จะเกิดร่วมกับพายุฟ้าคะนองขั้นรุนแรง ซึ่งจะเกิดลมพัดตัดกันของทิศทางลม (Directional shears) จะมีค่าตั้งแต่ ๙๐ - ๑๘๐ องศา โดยกระแสอากาศไหลลง (Downdraft) ของพายุฟ้าคะนองจะก่อให้เกิดลมพัดตัดกันที่มีอันตรายมาก ซึ่งจะเกิดร่วมกับกระแสอากาศไหลออกของพายุฟ้าคะนอง ดังตัวอย่าง ดังรูปที่ ๔-๖ ขณะที่อากาศยานกำลังบินเข้าสู่บริเวณที่มี Gust front และกระแสอากาศไหลลงนั้นจะพบทั้งการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของลมในแนวนอน รวมถึงการเคลื่อนที่ลงในทางตั้งอีกด้วย ซึ่งสามารถทำให้อากาศยานเสียระยะสูงในขณะร่อนลงหรือไต่ระดับได้ประมาณ ๒,๐๐๐ ฟุตต่อนาทีหรือมากกว่า ดังรูปที่ ๔-๗ ขณะที่อากาศยานกำลังจะวิ่งขึ้น จะประสบกับทั้งกระแสอากาศไหลลงและลมส่งท้าย จะทำให้เกิดการสูญเสียแรงยก หากอากาศยานอยู่ใกล้ ๆ กับพื้นดิน จะมีโอกาสประสบอุบัติเหตุได้



รูปที่ ๔-๖

รูปที่ ๔-๗

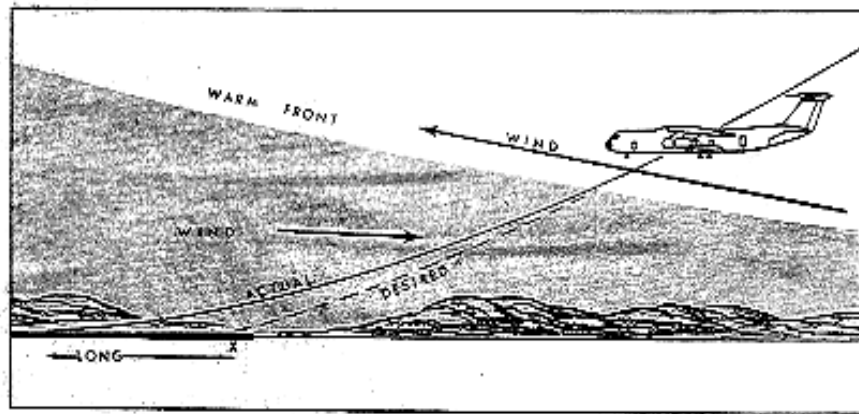
๔.๒ Microbursts หมายถึง กระแสอากาศไหลลงอย่างรุนแรงที่เกิดเป็นบริเวณแคบๆ มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ ๑/๔ - ๒ ๑/๒ ไมล์ ในช่วงเวลาสั้น ๆ ประมาณ ๒ - ๕ นาที และก่อให้เกิดลมพัดตัดกันในระดับต่ำ โดยมีความเร็วมากกว่า ๓,๐๐๐ ฟุตต่อวินาที ซึ่งเป็นอันตรายอย่างรุนแรงที่สุดต่อการบิน อันเนื่องมาจากขนาดเล็กและมีการเปลี่ยนแปลงกระสวนของลมอย่างรวดเร็ว เป็นผลทำให้เกิดลมพัดตัดกันอย่างรุนแรงที่สุด ซึ่งคุณลักษณะดังกล่าวนี้จะทำให้กระแสอากาศไหลลงของ Microburst เคลื่อนลงไปยังพื้นดิน และแผ่เป็นรัศมีในทางระดับก่อให้เกิดกระแสลมต้าน-ลมส่งท้าย มีความเร็วแตกต่างกันมากกว่า ๕๐ นอต โดยอากาศยานส่วนใหญ่จะตกอยู่ภายใต้อิทธิพลของ Microburst ระหว่างวิ่งขึ้นและร่อนลง ซึ่งขณะนั้นอากาศยานมีขีดจำกัดในการเร่งความเร็วของเครื่องยนต์

เมื่ออากาศยานบินผ่านเข้าไปในบริเวณที่มี Microburst จะประสบกับกระแสลมต้าน และตามด้วยกระแสอากาศไหลลงอย่างรุนแรงในทันทีทันใด หลังจากนั้นจะเป็นลมส่งท้าย เป็นผลให้เกิดการสูญเสียพลังงาน และระยะสูงลดลง อากาศยานอุบัติเหตุหลาย ๆ ครั้งที่สำคัญ ๆ มีผลสืบเนื่องมาจากลมพัดตัดกันที่เกิดจาก Microburst โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อลมพัดตัดกันมีความรุนแรงมากและเกิดในระดับต่ำ นักบินขาดการระมัดระวังในการติดต่อกับภาคพื้นดิน หรือแก้ไขปัญหาล่าช้าเกินไป

๔.๓ แนวปะทะอากาศ (Fronts) ลมพัดตัดกันที่รุนแรงเป็นผลมาจากแนวปะทะอากาศเคลื่อนที่เร็ว (๓๐ นอต หรือมากกว่า) และ/หรือมีอุณหภูมิแตกต่างกันอย่างน้อย ๕ องศาเซลเซียส (๑๐ องศาฟาเรนไฮท์)

ลมพัดตัดกันในระดับต่ำที่เกิดร่วมกับแนวปะทะอากาศเย็น เมื่อแนวปะทะอากาศเย็นเคลื่อนตัวผ่านบริเวณใด ๆ มักมีช่วงเวลาการเกิดน้อยกว่า ๒ ชั่วโมง เนื่องจากแนวปะทะอากาศเย็นจะมีความชันมากกว่า และเคลื่อนตัวเร็วกว่าแนวปะทะอากาศอุ่น

สำหรับลมพัดตัดกันที่เกิดร่วมกับแนวปะทะอากาศอุ่นนั้น จะมีอันตรายมากต่อการบิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งขณะร่อนลง แนวปะทะอากาศอุ่นที่มีลมแรงในชั้นบนสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางและความเร็วลมอย่างทันทีทันใด ดังรูปที่ ๔-๘ ลมพัดตัดกันที่เกิดขึ้นอาจจะคงอยู่ ๖ ชั่วโมง หรือมากกว่าบริเวณด้านหน้าของแนวปะทะอากาศ ทั้งนี้เป็นเพราะว่าแนวปะทะอากาศอุ่นมีความชันน้อย และเคลื่อนตัวช้า ซึ่งสภาพอากาศที่เกิดขึ้นได้แก่ เพดานเมฆและทัศนวิสัยต่ำ โดยจะเป็นสิ่งที่ก่อให้เกิดปัญหาต่อผู้ปฏิบัติการในอากาศได้เสมอ ๆ

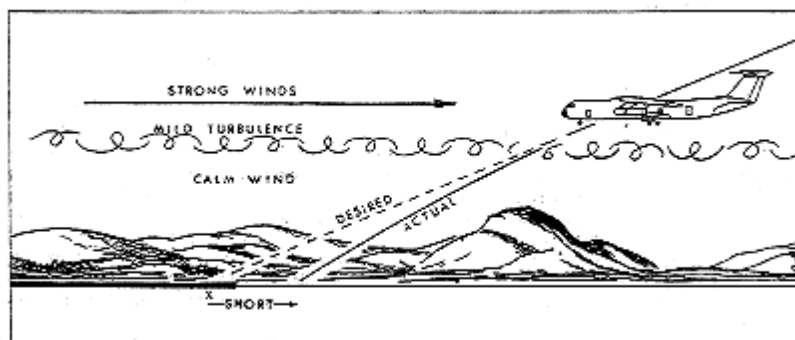


รูปที่ ๔-๘

๔.๔ กระแสลมกรดในระดับต่ำซึ่งเกิดเหนือชั้นอุณหภูมิกลับอันเนื่องมาจากการแผ่รังสี (Low Level Jet at Top of Radiation Inversion)

กระแสลมกรดในระดับต่ำมักจะเกิดเหนือชั้นอุณหภูมิลบอันเนื่องจากการแผ่รังสี ซึ่งจะเริ่มตั้งแต่ดวงอาทิตย์ตก และมีความรุนแรงสูงสุดก่อนดวงอาทิตย์ขึ้น และจะหายไปประมาณ ๑๐.๐๐ น. เนื่องจากโลกได้รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ ลักษณะอากาศดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้ทั่วทุกภูมิภาคของโลกตลอดทั้งปี

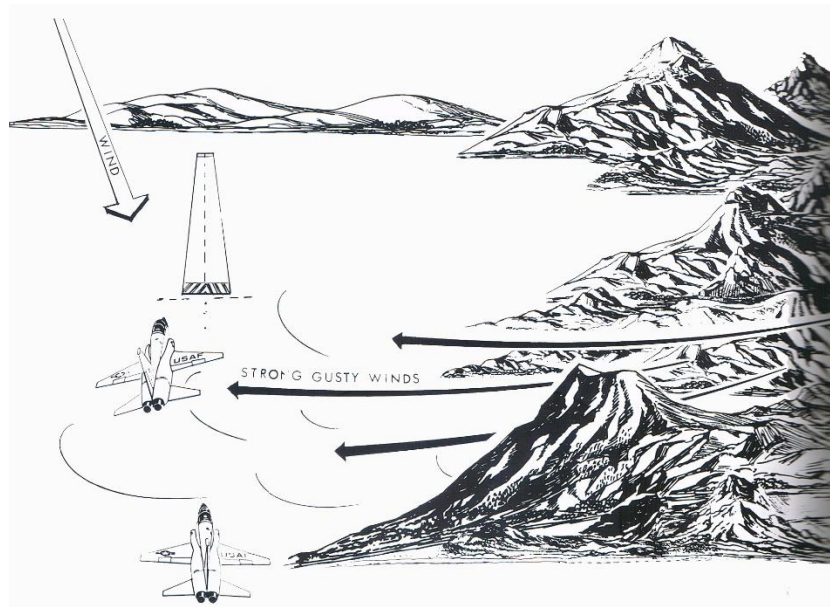
การที่โลกเย็นตัวลงจะทำให้ลมสงบ อากาศเย็น และทรงตัวดีนั้น จะสูงขึ้นไปจากพื้นดินประมาณ ๓๐๐ -๑,๐๐๐ ฟุต ซึ่งเป็นขั้นของการเกิดขึ้นอุณหภูมิกลับ กระแสลมกรดในระดับต่ำจะเกิดขึ้นเหนือชั้นอุณหภูมิกลับ โดยปกติความเร็วลมประมาณ ๓๐ นอต แต่บางครั้งเคยตรวจพบได้มากกว่า ๖๕ นอต ซึ่งทุกครั้งที่เกิดขึ้นอุณหภูมิกลับอันเนื่องจากการแผ่รังสีเกิดขึ้น มีโอกาสเกิดลมพัดตัดกันในระดับต่ำได้เช่นเดียวกัน ดังรูปที่ ๔-๙



รูปที่ ๔-๙

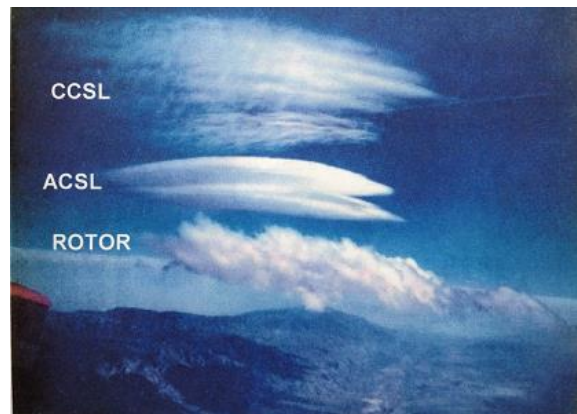
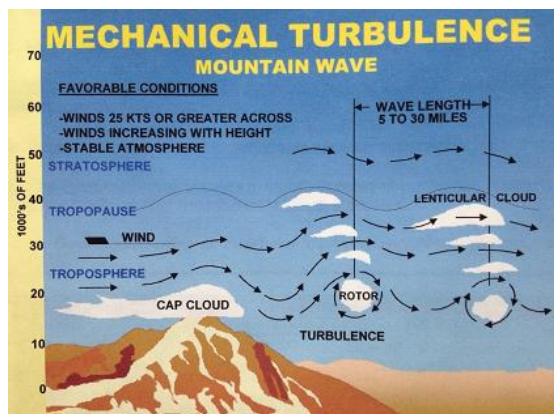
๔.๕ ลมช่องเขาและคลื่นภูเขา (Funneling wind and Mountain wave)

สแนมบินบางแห่งจะมีลมที่ทำให้เกิดอันตรายต่อการบินเกิดขึ้น โดยมีสาเหตุมาจากลมช่องเขา ซึ่งเกิดจากภูมิประเทศรอบ ๆ สแนมบินเป็นภูเขาและมีหุบเขาเป็นช่องการไหลของอากาศ ทำให้เกิดลมพัดแรงขึ้น และมีทิศทางไปยังเส้นทางบินของอากาศยาน โดยกระแสลมนั้นบางครั้งมีความเร็วถึง ๘๐ นอต ดังนั้นเมื่อทำการบินในบริเวณใกล้ภูเขาหรือช่องเขา ให้ระมัดระวังอันตรายจากลมแรงดังกล่าวด้วย เช่น สแนมบินโคกกระทาย ดังรูปที่ ๔-๑๐



รูปที่ ๔-๑๐

ส่วนคลื่นภูเขานั้นมักจะก่อให้เกิดลมพัดตัดกันบริเวณสแนมบินซึ่งตั้งอยู่ด้านใต้ลมของคลื่นภูเขาขณะเดียวกันอาจจะมีความชื้น, เมฆรูปเลนซ์ (ACSL) เกิดขึ้น ซึ่งแสดงถึงการเกิดคลื่นภูเขา และนั่นก็คือจะมีลมพัดตัดกันอีกด้วยเช่นกัน (รายละเอียดตามหัวข้อคลื่นภูเขา)



รูปที่ ๔-๑๑

๔.๖ สาเหตุอื่น ๆ ที่ทำให้เกิดลมพัดตัดกันในระดับต่ำ

สาเหตุที่ทำให้เกิดลมพัดตัดกันในระดับต่ำ ๒ ประการ คือ

๔.๖.๑ ลมกระโชกหรือลมแรงที่ผิวพื้น ลมที่มีความเร็วเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ ๑๐ นอต หรือมากกว่า จากค่าความเร็วลมเฉลี่ย หรือกรณีที่ลมแรงพัดผ่านอาคาร สิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ที่อยู่ใกล้ทางวิ่ง จะเป็นสาเหตุให้เกิดลมพัดตัดกันในบริเวณดังกล่าว ซึ่งจะเป็นอันตรายต่ออากาศยานขนาดเล็กได้ การตรวจสอบสภาพพื้นที่ภูมิประเทศและการรายงานสภาพอากาศของนักบินบริเวณใกล้ ๆ ทางวิ่งจะเป็นหนทางที่ดีที่สุดในการคาดการณ์ล่วงหน้า ต่อการเกิดลมพัดตัดกันจากสาเหตุดังกล่าว

๔.๖.๒ ลมบกลมทะเล โดยทั่วไปจะเกิดบริเวณใกล้ ๆ ทะเลสาบขนาดใหญ่, อ่าว หรือมหาสมุทร การที่ลมจะพัดจากพื้นดินไปยังพื้นน้ำหรือพื้นน้ำไปสู่พื้นดิน สาเหตุเกิดจากความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างพื้นดินและพื้นน้ำ ซึ่งลมทะเลนั้นจะเกิดเป็นบริเวณไม่กว้างมากนัก (small scale) ของความแตกต่างของมวลอากาศสองมวล กระแสลมที่พัดบริเวณดังกล่าวมีความเร็วประมาณ ๑๕ - ๒๐ นอต และจะพัดลึกเข้าไปในแผ่นดินประมาณ ๑๐ - ๒๐ ไมล์ ซึ่งจะมีความรุนแรงที่สุดในตอนบ่ายโดยกระแสลมที่พัดมีความสูงถึงประมาณ ๒,๐๐๐ ฟุต

ส่วนลมบกนั้นจะเกิดขึ้นในเวลากลางคืน เนื่องจากพื้นดินมีอุณหภูมิต่ำกว่าพื้นน้ำแต่จะมีความรุนแรงน้อยกว่าลมทะเล

บทที่ ๕

กระแสอากาศปั่นป่วน (Turbulence)

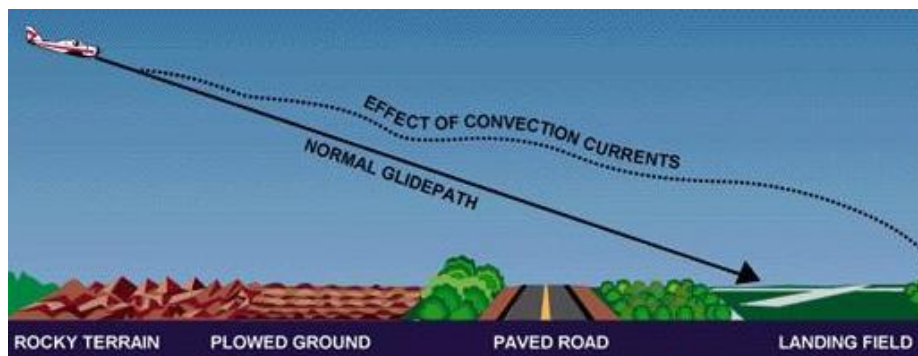
๑. กล่าวนำ (Introduction)

การไหลของกระแสอากาศมักจะมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางหรือความเร็วอย่างต่อเนื่อง ทั้งที่ระดับต่ำและระดับสูงในทุกฤดูกาล ขณะที่กระแสอากาศเกิดจากการกระเพื่อมหรือหมุนวนในบรรยากาศทั้งแนวระดับหรือแนวตั้ง เราเรียกว่า กระแสอากาศปั่นป่วน (Turbulence)

๒. ประเภทของกระแสอากาศปั่นป่วน (Types of Turbulence) สามารถแบ่งออกได้ ดังนี้

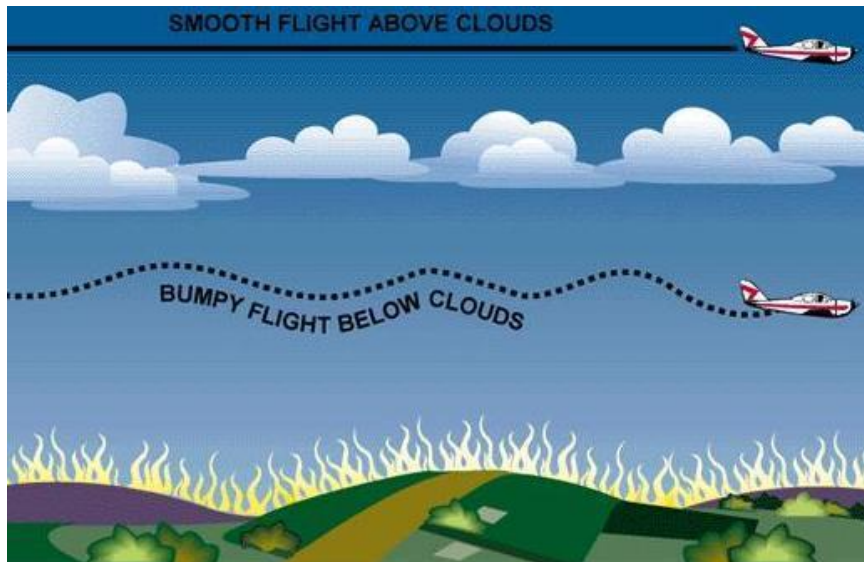
๒.๑ กระแสอากาศปั่นป่วนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอากาศในทางตั้ง (Convective Turbulence)

จัดเป็นกระแสอากาศปั่นป่วนที่เกิดในระดับต่ำ เกิดจากกระแสอากาศลอยตัวและจมตัว เนื่องจากกระแสอากาศจมตัวมักเกิดเป็นบริเวณกว้าง ทำให้มีความเร็วในทางตั้งน้อยกว่ากระแสอากาศลอยตัว กระแสอากาศปั่นป่วนชนิดนี้มีความรุนแรงมากในช่วงเวลาบ่ายของฤดูร้อน และมีลมพัดอ่อน หากลมแรงจะขัดขวางการเกิดกระแสอากาศปั่นป่วนชนิดนี้ และทำให้ความรุนแรงลดลง อากาศที่ได้รับความร้อนบริเวณผิวพื้นจะทำให้เกิดอากาศไม่ทรงตัวในระดับต่ำ ๆ และอากาศร้อนนั้นจะลอยตัวสูงขึ้น ถ้าอากาศที่ผิวพื้นได้รับความร้อนมากขึ้น จะยิ่งทำให้การลอยตัวของอากาศได้สูงและรุนแรงขึ้น บริเวณพื้นทรายหรือที่ถูกปกคลุมด้วยก้อนหินและทุ่งนา เมื่อได้รับความร้อนมากกว่าพื้นน้ำหรือพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมอยู่ ความรุนแรงของกระแสอากาศที่ลอยขึ้นเหนือบริเวณดังกล่าวมีไม่เท่ากัน เมื่อเครื่องบินบินผ่านบริเวณดังกล่าวหรือขณะร่อนลงสู่สนามบิน จะพบกับกระแสอากาศปั่นป่วนชนิดนี้ รูปที่ ๕-๑



รูปที่ ๕-๑

เมื่อกระแสอากาศลอยตัวสูงขึ้น จะเย็นตัวลงเนื่องจากการขยายตัว และการลอยตัวจะเกิดต่อเนื่องจนถึงระดับที่อุณหภูมิของกระแสอากาศใกล้เคียงกับสภาวะแวดล้อม ถ้าอากาศอิมตัวจะเกิดเมฆ ดังนั้น บางครั้งกระแสอากาศปั่นป่วนชนิดนี้จึงปรากฏเมฆคิวมูลัส (Cumulus) หรือคิวมูโลนิมบัส (Cumulonimbus) ให้เห็น และกระแสอากาศปั่นป่วนชั้นรุนแรงมักพบบริเวณใต้ฐานเมฆหรือภายในก้อนเมฆ แต่ไม่พบบริเวณเหนือเมฆ หากอากาศแห้งมากจะไม่ปรากฏเมฆให้เห็น จึงควรระมัดระวังเนื่องจากมองไม่เห็นกระแสอากาศปั่นป่วนบริเวณดังกล่าว รูปที่ ๕-๒

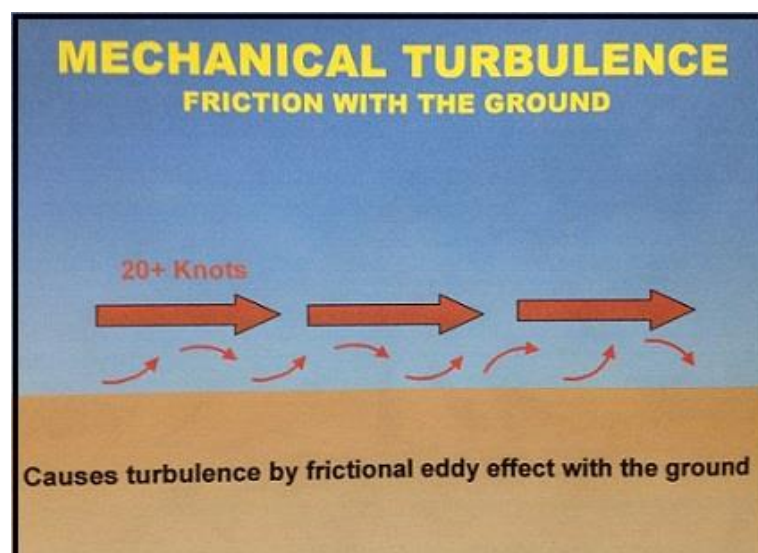


รูปที่ ๕-๒

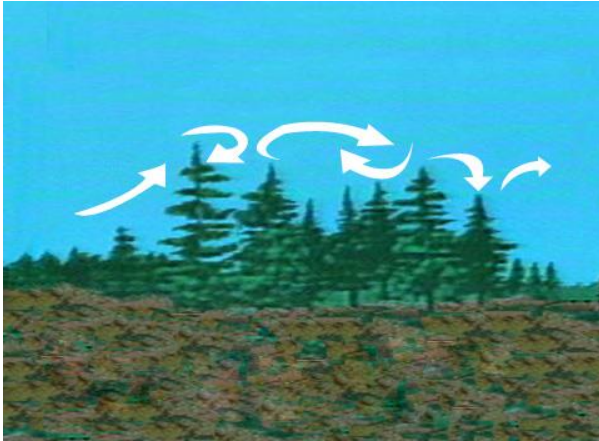
เมื่อกระแสอากาศลอยตัวสูงขึ้น จะเย็นตัวลงเนื่องจากการขยายตัว และการลอยตัวจะเกิดต่อเนื่องจนถึงระดับที่อุณหภูมิของกระแสอากาศใกล้เคียงกับสถานะแวดล้อม ถ้าอากาศอิ่มตัวจะเกิดเมฆ ดังนั้นบางครั้งกระแสอากาศปั่นป่วนชนิดนี้จึงปรากฏเมฆคิวมูลัส (Cumulus) หรือคิวมูโลนิมบัส (Cumulonimbus) ให้เห็น และกระแสอากาศปั่นป่วนชั้นรุนแรงมักพบบริเวณใต้ฐานเมฆหรือภายในก้อนเมฆ แต่ไม่พบบริเวณเหนือเมฆ หากอากาศแห้งมากจะไม่ปรากฏเมฆให้เห็น จึงควรระมัดระวังเนื่องจากมองไม่เห็นกระแสอากาศปั่นป่วนบริเวณดังกล่าว รูปที่ ๕-๒

๒.๒ กระแสอากาศปั่นป่วนจากลักษณะของผิวพื้น (Mechanical Turbulence)

เป็นกระแสอากาศปั่นป่วนที่เกิดจากกระแสลมที่ระดับใกล้พื้นดิน พัดผ่านพื้นที่ขรุขระ หรือสิ่งกีดขวางกระแสลม เช่น ต้นไม้ สิ่งปลูกสร้าง และเทือกเขา ซึ่งกระแสลมจะม้วนขดตัวเป็นวงขนาดต่าง ๆ และกระแสลมวนจะเคลื่อนไปตามการไหลของกระแสลม ซึ่งจะมีผลกระทบต่อการบินมากขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของเครื่องบิน



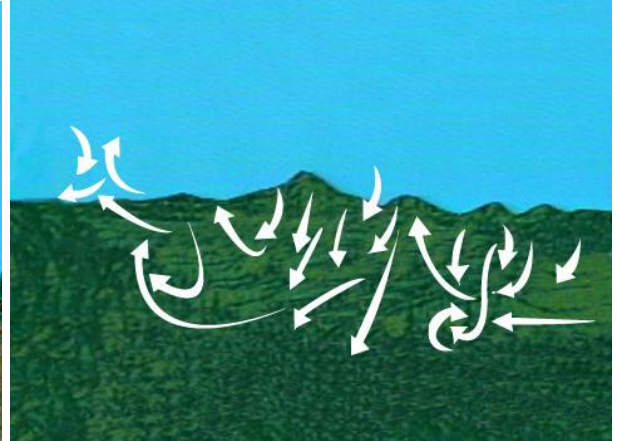
รูปที่ ๕-๓



รูปที่ ๕-๔

กระแสอากาศปั่นป่วนชนิดนี้เกิดขึ้นได้ดีเพียงใดขึ้นอยู่กับ

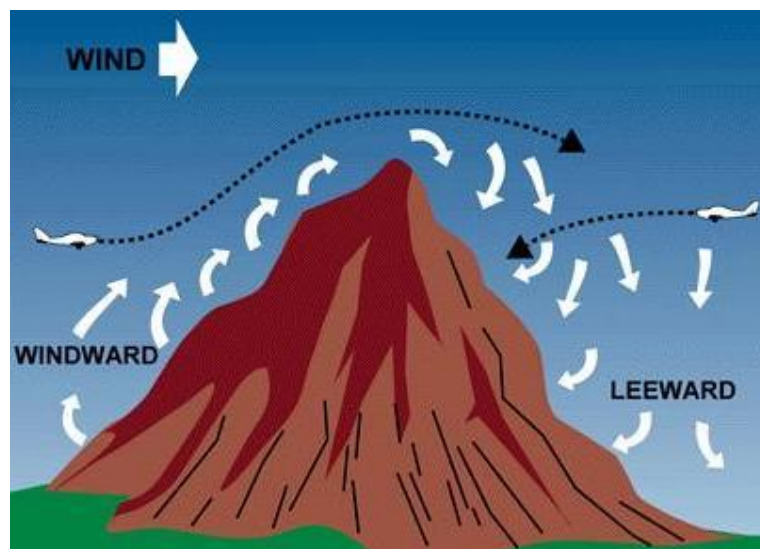
- ความขรุขระของพื้นผิว หรือรูปร่างของสิ่งกีดขวางกระแสลม
- ความเร็วกระแสลม
- การทรงตัวของมวลอากาศ



รูปที่ ๕-๕

การเปลี่ยนแปลงของกระแสลมใกล้พื้นดิน มีความสำคัญมากต่ออากาศยานขณะบินขึ้น-ลง โดยเฉพาะอากาศยานขนาดเล็ก กรณีบริเวณสนามบินซึ่งมีสิ่งปลูกสร้างขนาดใหญ่ใกล้ ๆ ทางวิ่ง เช่น โรงเก็บเครื่องบิน อาจทำให้เกิดกระแสอากาศปั่นป่วนขึ้นได้ ถ้ากระแสลมอ่อน อากาศมวลวน (eddy) ที่เกิดขึ้นจะปกคลุมบริเวณพื้นดินใกล้สิ่งปลูกสร้าง แต่ถ้าความเร็วลมมากกว่า ๒๐ นอต อากาศมวลวนจะไหลออกไปได้เป็นระยะทางไกล ๆ ซึ่งเป็นอันตรายต่ออากาศยานขณะลงจอด

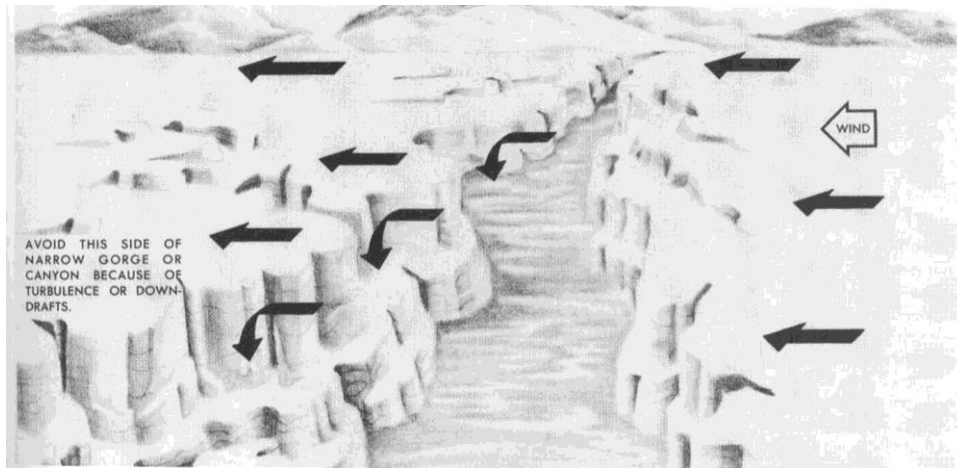
กรณีเมื่อลมพัดผ่านเนินเขาหรือภูเขา มักก่อให้เกิดกระแสอากาศปั่นป่วน และจะมีความรุนแรงมากเมื่อลมมีความเร็วสูง โดยที่กระแสอากาศไหลลงด้านหลังลมจะเป็นอันตรายต่ออากาศยานได้ ดังนั้นควรระวังไว้เสมอว่าเมื่อทำการบินเข้าสู่ด้านหลังลมของยอดเขาในขณะที่ลมพัดแรง ควรบังคับให้อากาศยานไต่ขึ้นสู่ระดับความสูงเหนือยอดของสิ่งกีดขวางนั้นหลายพันฟุต การบินระดับต่ำนอกจากจะเผชิญกับกระแสอากาศไหลลงแล้ว ยังมีโอกาสเผชิญกับกระแสอากาศปั่นป่วน และลมขวาง (cross wind) ที่ไหลขนานกับหุบเขา ดังรูปที่ ๕-๖



รูปที่ ๕-๖

เมื่อลมพัดผ่านหุบเขา กระแสอากาศไหลลงจะเกิดขึ้นด้านหลังลม ขณะที่กระแสอากาศไหลขึ้นจะเกิดขึ้นด้านรับลม ดังนั้นหากจำเป็นต้องบินผ่านบริเวณดังกล่าว เพื่อความปลอดภัยควรบินใกล้ทางด้านกระแสอากาศไหลขึ้น เพื่อช่วยเพิ่มแรงยกตัวของเครื่องบิน

เมื่อลมพัดผ่านแนวร่องเขาแคบ ๆ กระแสอากาศส่วนหนึ่งจะไหลลงไปยังร่องเขา จะเกิดกระแสอากาศปั่นป่วนบริเวณกลางของร่องเขาและด้านปลายลม ดังรูปที่ ๕-๗ ดังนั้นควรหลีกเลี่ยงการบินผ่านบริเวณกระแสลมที่ไหลผ่านร่องเขาเนื่องจากเครื่องบินอาจเสียระยะสูงและชนร่องเขาได้



รูปที่ ๕-๗

๓. กระแสอากาศปั่นป่วนที่ระดับสูง (High Altitude Turbulence)

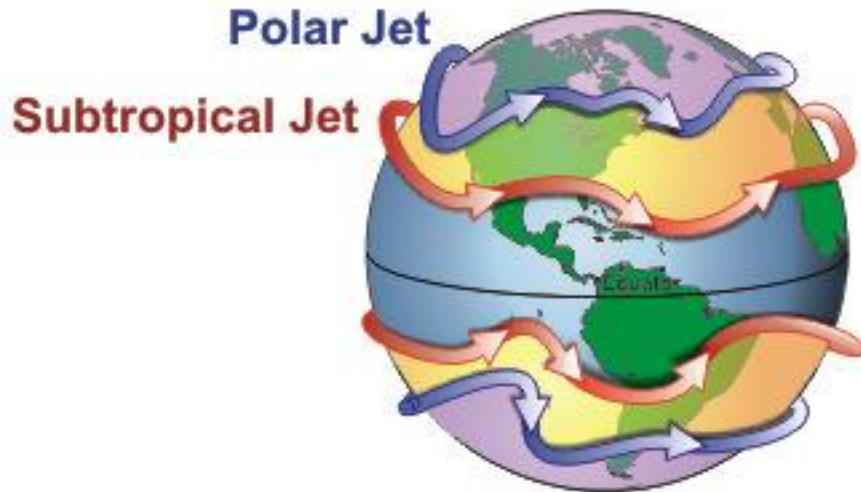
๓.๑ บริเวณโทรโปพอส (Tropopause)

บริเวณโทรโปพอสมักเกิดกระแสอากาศปั่นป่วนได้ดี เพราะมีการเปลี่ยนแปลงในทางดิ่งซึ่งปรากฏภายในหรือบริเวณใกล้กับโทรโปพอส บริเวณที่พบกระแสอากาศปั่นป่วนในระดับของโทรโปพอสมักไม่ปรากฏให้เห็น ดังนั้นจึงถูกจัดเป็น กระแสอากาศปั่นป่วนในอากาศแจ่มใส (Clear Air Turbulence)

เราทราบว่าโทรโปพอสบริเวณศูนย์สูตรมีความสูงมากกว่าโทรโปพอสบริเวณขั้วโลก และมีรอยแตกอยู่ ๒ แห่ง คือ ระหว่างเขตอาร์คติกกับเขตขั้วโลก และเขตขั้วโลกกับเขตร้อน ซึ่งบริเวณรอยแตกดังกล่าวจะพบกระแสลมกรด (Jet Stream)

๓.๒ กระแสลมกรด (Jet Stream)

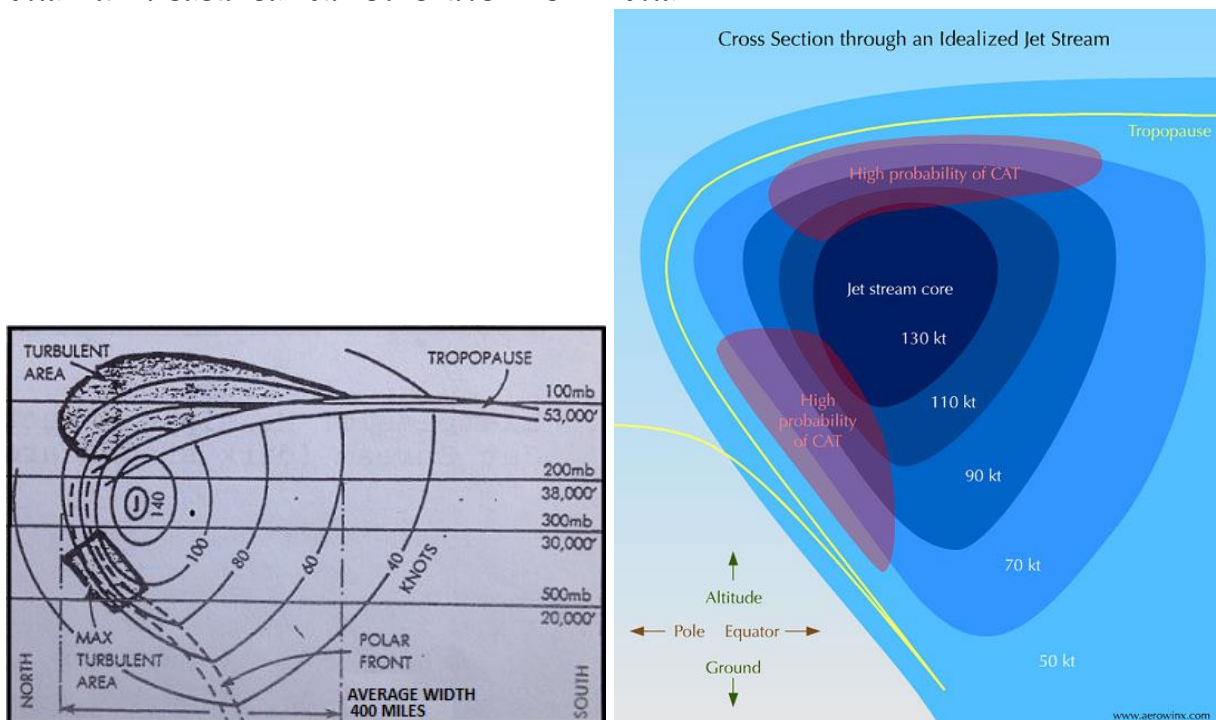
จากรูปที่ ๕-๘ กระแสลมกรดเป็นกระแสลมฝ่ายตะวันตกที่มีความเร็วตั้งแต่ ๕๐ นอต ขึ้นไปพัดเป็นแนวแคบทั้งทางระดับและทางดิ่ง ไหลวนไปรอบ ๆ โลก คล้ายกับคลื่นซึ่งพบได้ทั้งในซีกโลกเหนือและใต้ กระแสลมกรดบางครั้งอาจมีความเร็วถึง ๓๐๐ นอต แต่ปกติพบระหว่าง ๑๐๐ ถึง ๑๕๐ นอต กระแสลมกรดที่ปรากฏขึ้นจะไม่พบต่อเนื่องขณะไหลไปรอบ ๆ โลก บ่อยครั้งที่พบว่ามีความยาว ๑,๐๐๐ - ๓,๐๐๐ ไมล์ มีความกว้าง ๑๐๐ - ๔๐๐ ไมล์ และมีความหนา ๓,๐๐๐ - ๗,๐๐๐ ฟุต



รูปที่ ๕-๘

กระแสลมกรดบางครั้งอาจมีความเร็วถึง ๓๐๐ นอต แต่ปกติพบระหว่าง ๑๐๐ ถึง ๑๕๐ นอต กระแสลมกรดที่ปรากฏขึ้นจะไม่พบต่อเนื่องขณะไหลไปรอบ ๆ โลก บ่อยครั้งที่พบว่ามีความยาว ๑,๐๐๐ - ๓,๐๐๐ ไมล์ มีความกว้าง ๑๐๐ - ๔๐๐ ไมล์ และมีความหนา ๓,๐๐๐ - ๗,๐๐๐ ฟุต

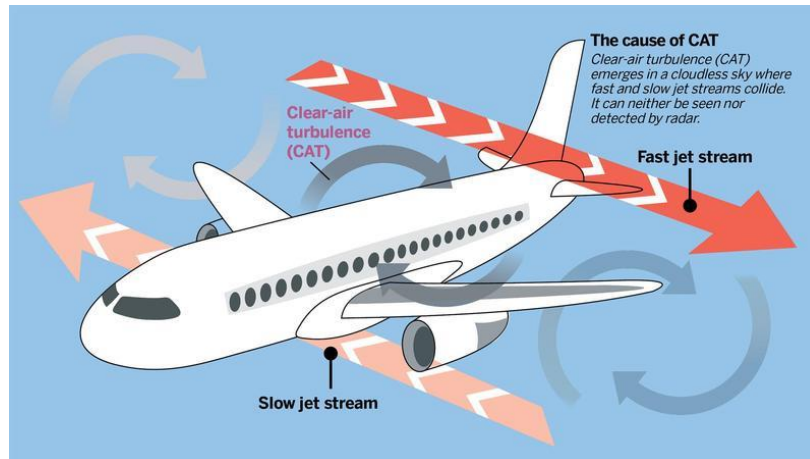
จากรูปที่ ๕-๙ พบว่าความเร็วลมสูงสุดของกระแสลมกรดในแนวปะทะอากาศขั้วโลก (Polar Front Jet Stream) พบที่ ๕,๐๐๐ ฟุตใต้โทรโพพอสเขตร้อนและปลายของโทรโพพอสเขตขั้วโลก พบว่าอัตราการลดลงของความเร็วของกระแสลมทางเขตขั้วโลกมีค่ามากกว่าเขตศูนย์สูตร ดังนั้นความรุนแรงของ Wind Shear แถบขั้วโลกจึงมากกว่าแถบศูนย์สูตร แนวปะทะอากาศขั้วโลก (Polar Front) มักจะเกิดและเคลื่อนตามกันไปตามช่วงเวลา และบางครั้งอาจจะเกิดได้หลายแห่งในช่วงเวลาเดียวกัน กระแสลมกรดในแนวปะทะอากาศขั้วโลกก็มีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับแนวปะทะอากาศขั้วโลก



รูปที่ ๕-๙

๓.๓ กระแสอากาศปั่นป่วนในอากาศแจ่มใส (Clear Air Turbulence : CAT)

คำว่ากระแสอากาศปั่นป่วนในอากาศแจ่มใส เป็นคำใช้เรียกระแสอากาศที่ทำให้เครื่องบินขณะทำการบิน เกิดอาการกระแทกหรือกระเพื่อมไปมาในอากาศที่ปราศจากเมฆ แต่บางครั้งอาจเกิดพร้อมกับมีเมฆชั้นสูงประเภท Cirrus Cloud และมีชั้นหมอกแตกปกคลุมอยู่ จากการศึกษพบว่าประมาณ ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ของกระแสอากาศปั่นป่วนชนิดนี้ไม่มีเมฆปรากฏให้เห็น

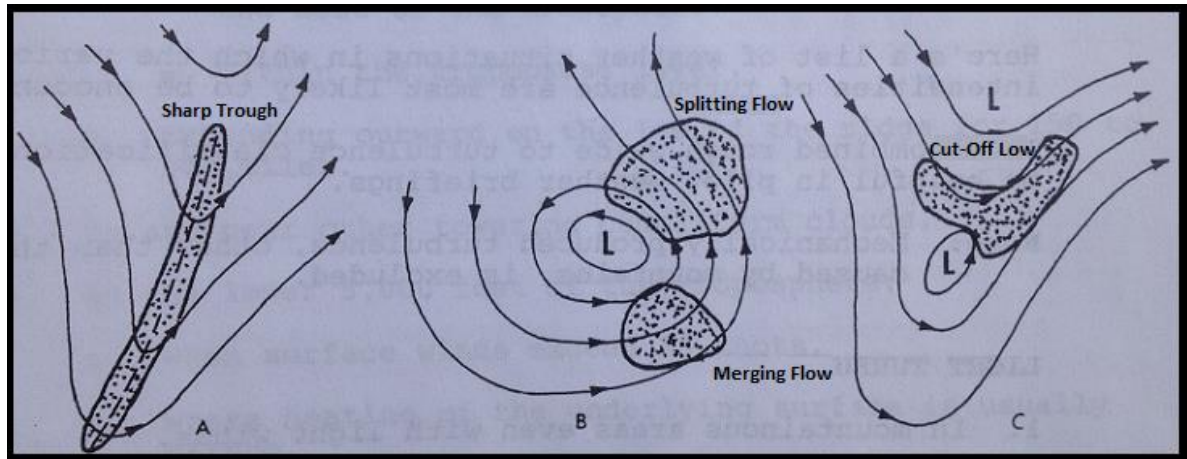


รูปที่ ๕-๑๐

กระแสอากาศปั่นป่วนในอากาศแจ่มใส แตกต่างจากกระแสอากาศปั่นป่วนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอากาศในทางตั้ง กระแสอากาศปั่นป่วนภายในเมฆพายุฟ้าคะนองและกระแสอากาศปั่นป่วนจากลักษณะของผิวพื้น ซึ่งสามารถบอกตำแหน่งการเกิดได้ชัดเจน กระแสอากาศปั่นป่วนในอากาศแจ่มใสนี้มักจะพบเหนือระดับ ๑๕,๐๐๐ ฟุต นอกกลุ่มเมฆก้อน พร้อมกับการเปลี่ยนความเร็วของลมแนวตั้ง (Vertical Wind Shear) และ/หรือ แนวระดับ (Horizontal Wind Shear) นอกจากจะพบกระแสอากาศปั่นป่วนในอากาศแจ่มใสบริเวณตำแหน่งที่พบกระแสลมกรดแล้ว และสามารถพบ Strong Wind Shear ได้อีกด้วย

กระแสอากาศปั่นป่วนในอากาศแจ่มใสสามารถแผ่ขยายขึ้นไปถึงระดับสูง ๆ และยังเกิดร่วมกับการไหลของกระแสลมที่ก่อให้เกิด Shear ได้อีกด้วย ในกรณีของร่องความกดอากาศต่ำในระดับความสูงที่มีความลึกและคมชัด เคลื่อนที่ด้วยความเร็วมากกว่า ๒๐ นอต จะพบกระแสอากาศปั่นป่วนชนิดนี้บริเวณใกล้เคียง หรือในร่องความกดอากาศต่ำ แม้ว่าความเร็วของลมค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วของลมใกล้ ๆ กระแสลมกรด นอกจากนี้ทิศทางของลมทั้งสองด้านที่อยู่ตรงข้ามกับร่องความกดอากาศต่ำ มีค่าต่างกัน ๙๐ องศา หรือมากกว่า ดังรูปที่ ๕-๑๑A

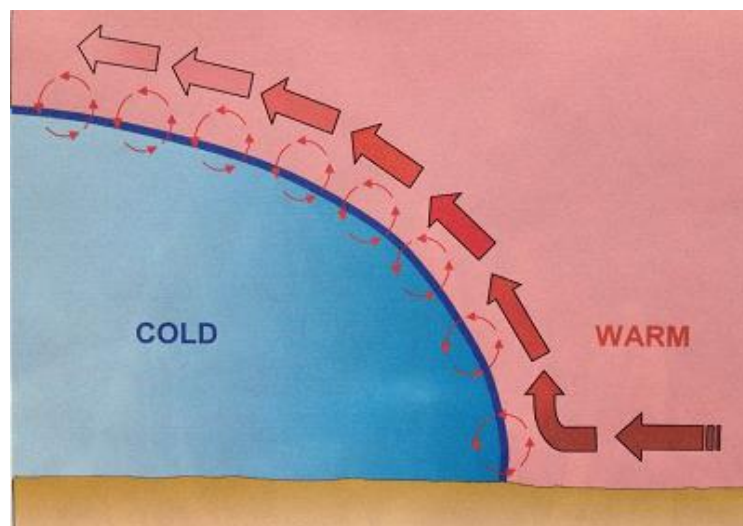
กระแสอากาศปั่นป่วนในอากาศแจ่มใส สามารถพบได้ในบริเวณรอบ ๆ หย่อมความกดอากาศต่ำที่ปรากฏในระดับสูง (Low Aloft) โดยเฉพาะบริเวณที่มีกระแสอากาศไหลแยกและไหลสอป ซึ่งปรากฏทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของ Cut of Low ดังรูปที่ ๕-๑๑B , ๕-๑๑C



รูปที่ ๕-๑๑

๔. กระแสอากาศปั่นป่วนที่เกิดจากแนวปะทะอากาศ (Frontal Turbulence)

กระแสอากาศปั่นป่วนชนิดนี้ เกิดจากการยกตัวของอากาศที่อุ่นกว่าตรงส่วนหน้าของแนวปะทะอากาศ เนื่องจากการปะปน หรือความแตกต่างของทิศทางการไหลในมวลอากาศอุ่นและเย็น จึงเกิดกระแสอากาศปั่นป่วนขึ้น การไหลขึ้นของอากาศจะมีความรุนแรงเมื่ออากาศอุ่นนั้นมีการทรงตัวไม่ดี และมีความชื้นมาก กระแสอากาศปั่นป่วนชนิดนี้จะรุนแรงที่สุด โดยสังเกตได้จากเมื่อแนวปะทะอากาศเย็นที่เคลื่อนที่เร็ว

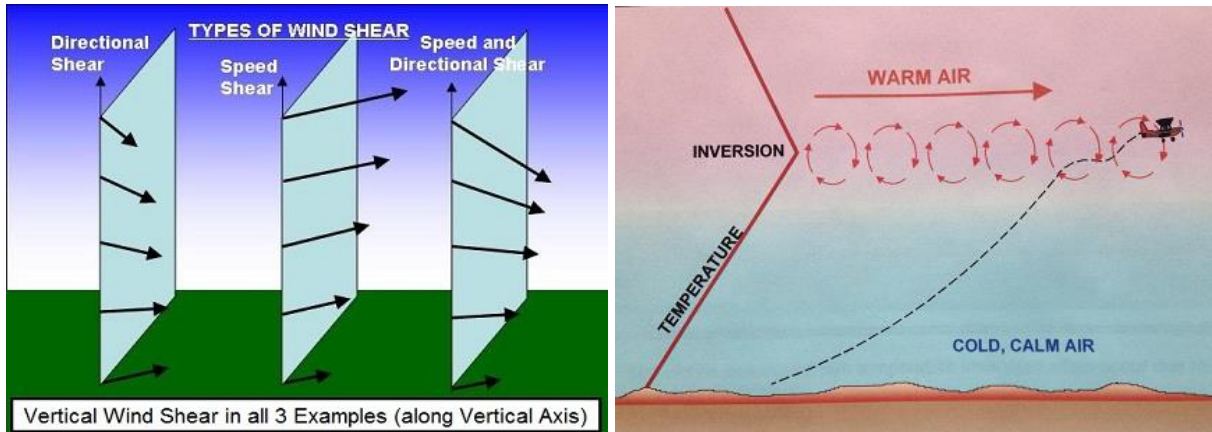


รูปที่ ๕-๑๒

๕. กระแสอากาศปั่นป่วนที่เกิดจากลมพัดในทิศทางตัดกัน (Wind Shear Turbulence)

การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมหรือลมที่พัดในทิศทางตัดกันตามทางดิ่งหรือทางระดับ (Wind Shear) จะเป็นผลทำให้เกิดกระแสอากาศปั่นป่วนขึ้น ถ้าความเร็วและทิศทางลมมีการเปลี่ยนแปลงมาก ก็เกิดกระแสอากาศปั่นป่วนอย่างรุนแรงตามมา กระแสอากาศปั่นป่วนชนิดนี้มักจะเกิดในบริเวณกระแสลมกรด ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมมากทั้งในทางดิ่งและทางระดับ ลักษณะเช่นนี้มักจะเกิดในบริเวณที่มีอากาศแจ่มใส จึงเรียกว่ากระแสอากาศปั่นป่วนในอากาศแจ่มใส (Clear Air Turbulence) มีรายละเอียดตามหัวข้อ ๓.๓

กระแสอากาศปั่นป่วนบางครั้งอาจเกิดขึ้นขณะที่เครื่องบินไต่ขึ้นหรือร่อนลงสู่สนามบิน ในขณะที่มีการเพิ่มอุณหภูมิตามระยะสูง ตัวอย่างเช่น ในบริเวณที่มีลมสงบ อากาศเย็นมักจะเกิดขึ้นตามหุบเขา อันเนื่องมาจากความเย็นในตอนกลางคืน ขณะเดียวกันถ้ามีอากาศอุ่นกว่าเคลื่อนเข้ามาซ้อนทับ ความแตกต่างของความเร็วลมในอากาศทั้งสองนั้นจะทำให้เกิดการปะทะกันขึ้น จึงเกิดกระแสอากาศปั่นป่วนในบริเวณแคบ ๆ

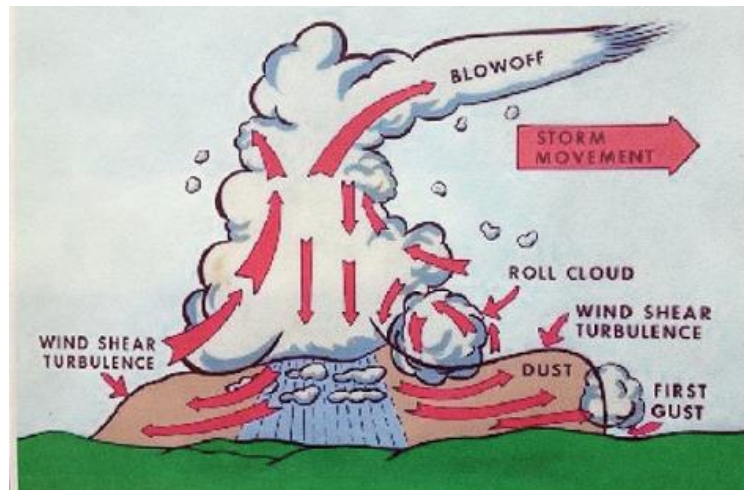


รูปที่ ๕-๑๓

๖. กระแสอากาศปั่นป่วนเนื่องจากพายุฟ้าคะนอง (Thunderstorm Turbulence)

เมฆคิวมูโลนิมบัสซึ่งเติบโตขึ้นมาจากการที่อากาศเย็นไหลผ่านไปบนพื้นผิวมหาสมุทร อาจแผ่ขยายความสูงของยอดเมฆขึ้นไปได้ถึง ๕ - ๗ กิโลเมตร อย่างไรก็ตามยอดเมฆคิวมูโลนิมบัสที่มีความรุนแรงมากในบางครั้งอาจขยายสูงขึ้นไปได้ถึง ๙ - ๑๓ กิโลเมตร และสามารถสูงกว่านี้ได้ในเขตร้อน การเคลื่อนที่ของอากาศในแนวดิ่งจะมีอยู่ทั่วทั้งก้อน ทำให้เกิดผลกระทบต่อด้านทุกระดับทั้งที่อยู่ในหรือใต้เมฆคิวมูโลนิมบัส

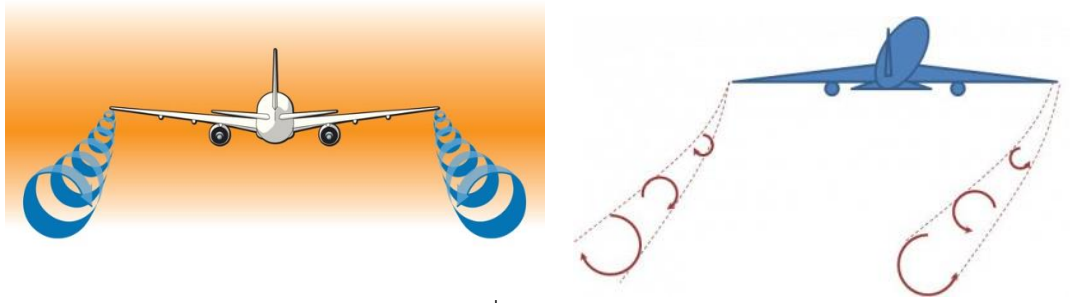
กระแสอากาศไหลขึ้นบริเวณระดับกลางภายในเมฆคิวมูโลนิมบัส จะมีความรุนแรงมากกว่าบริเวณส่วนล่างของเมฆ, บริเวณรอบฐานเมฆและบริเวณยอดเมฆหรือใกล้เคียง



รูปที่ ๕-๑๔

๗. กระแสอากาศปั่นป่วนเนื่องจากเครื่องบิน (Wake Turbulence)

การบินของอากาศยานทุกแบบจะก่อให้เกิดกระแสอากาศปั่นป่วน ซึ่งมีลักษณะเป็นแบบมววน (Vortex Wake Turbulence) โดยมีจุดเริ่มต้นจากปลายปีกทั้งสองข้าง รูปที่ ๕-๑๕ ซึ่งความรุนแรงจะขึ้นอยู่กับน้ำหนักและความเร็วของอากาศยาน รวมทั้งรูปร่างของปีกที่ก่อให้เกิดกระแสลมวน ความรุนแรงจะมีค่ามากที่สุดเมื่ออากาศยานมีน้ำหนักมาก ผิวเรียบ และบินด้วยความเร็วต่ำ (Heavy, Clean, Slow) เคยมีการบันทึกว่าความเร็วในการหมุน (Vortex Tangential Velocities) มีค่าสูงถึง ๑๓๐ นอต

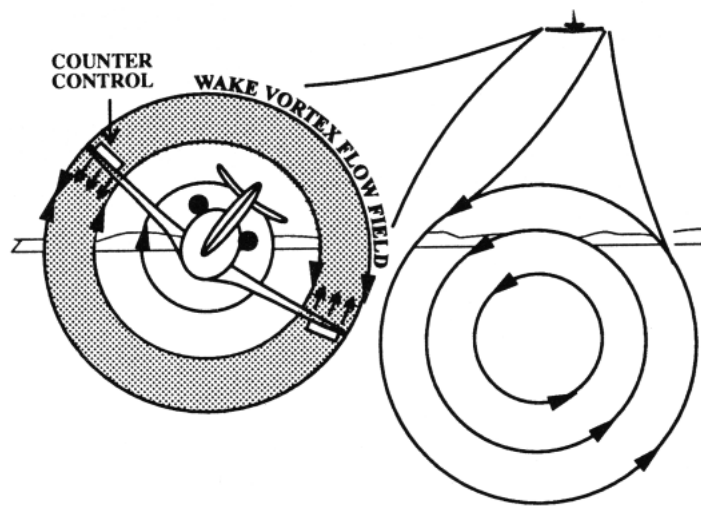


รูปที่ ๕-๑๕

การหมุนของกระแสน้ำอากาศอย่างรุนแรงในลักษณะเป็นรูปกรวย สามารถเป็นอันตรายต่ออากาศยานได้ โดยอันตรายในเบื้องต้นได้แก่ การสูญเสียการควบคุมอันมีสาเหตุจากการหมุนควงของอากาศยาน รูปที่ ๕-๑๖ ซึ่งการแก้ไขจะมีข้อจำกัดขึ้นอยู่กับความกว้างของปีก และการตอบสนองของเครื่องต่อการบังคับแก้ไขนั้น ถ้าอากาศยานมีขนาดค่อนข้างใหญ่และส่วนของปีกและครีบบริกกัมเมย (Ailerons) มีความยาวเลยออกมานอก กระแสลมวน การบังคับแก้ไขจะทำได้ผล และการหมุนควงจะไม่รุนแรง

กระแสลมวนที่เกิดจากส่วนท้ายของอากาศยานมีคุณลักษณะเฉพาะ ซึ่งผู้ทำการในอากาศควรรู้เมื่อมีการเกิด และตำแหน่งที่เกิดของกระแสลมวนนั้น เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงอันตรายที่อาจมีตามมา

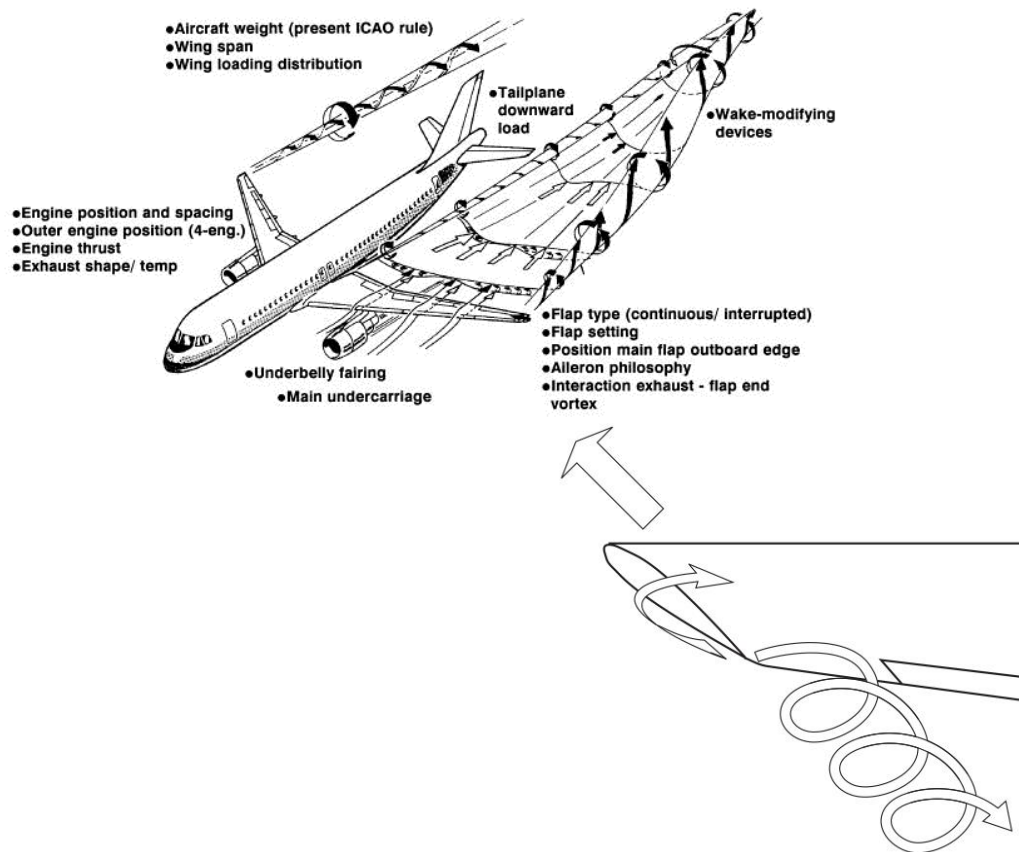
- กระแสลมวนเริ่มต้นการเกิดและการหมุนตัวเมื่อล้ออากาศยานพ้นพื้นขณะบินขึ้น และจะสิ้นสุดเมื่อล้อแตะพื้นขณะลงจอด



รูปที่ ๕-๑๖

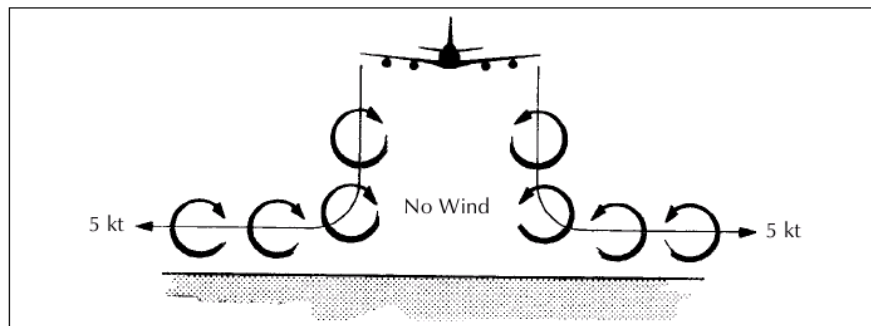
- ทิศทางการไหลของกระแสน้ำอากาศมวนวน จะเริ่มจากหมุนออกข้างนอกแล้วขึ้นข้างบน และจากนั้น หมุนวนรอบปลายปีก แกนของการหมุนมีขนาดตั้งแต่ ๒๕ - ๕๐ ฟุต และจะเกิดอยู่คู่กันจนกระทั่งสลายตัวไป

รูปที่ ๕-๑๖



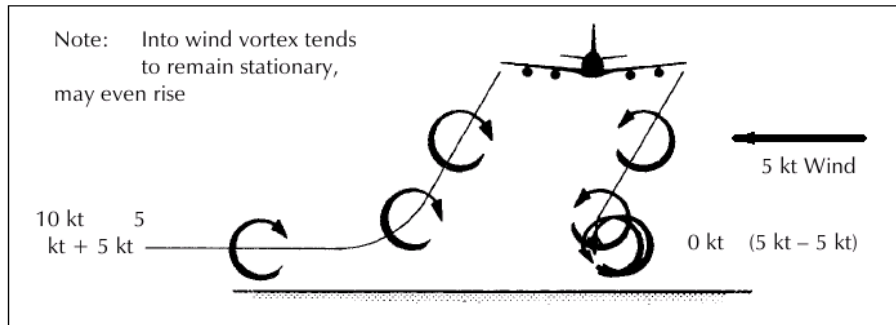
รูปที่ ๕-๑๖

- กระแสมวลวนจะมีอัตราการจมตัว ๔๐๐ - ๕๐๐ ฟุตต่อนาที และจะสลายตัวเมื่อจมตัวได้ประมาณ ๘๐๐ - ๙๐๐ ฟุต จึงควรบินที่ระดับเดียวกัน หรือเหนือกว่าอากาศยานที่นำหน้า
- เมื่อกระแสมวลวนจมตัวลงถึงพื้นด้านล่าง จะเคลื่อนที่ไปด้านข้างด้วยความเร็ว ๕ นอต รูปที่ ๕-๑๗



รูปที่ ๕-๑๗

ผู้ทำการในอากาศควรระมัดระวังความรุนแรงของกระแสลม ซึ่งเป็นผลมาจากการที่มีลมขวางสนามในเวลานั้น รูปที่ ๕-๑๘



รูปที่ ๕-๑๘

อย่างไรก็ตามในกรณีที่บินตามลม (Tail Wind) กระแสอากาศมวลวนอาจถูกพัดเข้าไปสู่บริเวณที่เครื่องจะร่อนลงได้

- กระแสมวลวนจะคงอยู่ได้นานกว่าปกติในขณะที่เกิดการเพิ่มอุณหภูมิตามระยะสูง (Inversion) ดังนั้นเมื่ออยู่ในสภาวะดังกล่าว ควรจะเพิ่มระยะห่างระหว่างเครื่องบินให้มากกว่าปกติ
- ถ้าอากาศทรงตัวดีและลมสงบ ความปั่นป่วนอาจจะอยู่ได้นาน ๕ นาทีหรือมากกว่า หากมีลมแรงขึ้น กระแสมวลวนจะอยู่นานขึ้น และระยะทางของกระแสอากาศปั่นป่วนจะเพิ่มมากขึ้นด้วยตามทิศทางที่ลมพัดไป และถ้าอากาศทรงตัวไม่ดี กระแสมวลวนจะสลายตัวได้เร็ว

ใบพัดหลักของเฮลิคอปเตอร์สามารถทำให้เกิดกระแสมวลวนลงสู่ด้านล่างได้ ซึ่งเมื่อบินไปข้างหน้า กระแสมวลวนจะมีลักษณะการเกิดคล้ายกับที่เกิดบริเวณปลายปีกของอากาศยานปีกตรึง รูปที่ ๕-๑๙ ยิ่งเฮลิคอปเตอร์มีขนาดใหญ่ อันตรายจะมีมากขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ ๕-๑๙

ภายใต้หลักเกณฑ์เงื่อนไขของการควบคุมการจราจรทางอากาศ จะกำหนดให้เว้นระยะห่างเมื่อบินตามหลังอากาศยานขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตามก็ขึ้นอยู่กับกรณีการตัดสินใจ และเป็นความรับผิดชอบของผู้ทำการในอากาศ เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงความเสี่ยงต่อการประสบกับกระแสอากาศมวลวน และข้อปฏิบัติที่ควรทราบได้แก่

๑. เมื่ออยู่ในเส้นทางบิน ให้บินระดับเดียวกันหรือเหนือขึ้นไป เมื่อบินตามอากาศยานขนาดใหญ่
๒. เมื่อร่อนลงจอดตามหลังอากาศยานขนาดใหญ่ ให้ลงแตะพื้นในตำแหน่งที่เลยไปจากจุดที่อากาศยานขนาดใหญ่ลงแตะพื้น
๓. เมื่อลงแตะพื้นหรือขึ้นจากพื้นหลังการบินขึ้นของอากาศยานขนาดใหญ่ ให้ลงแตะพื้นหรือขึ้นจากพื้นที่ตำแหน่งก่อนที่ถึงจุดที่อากาศยานขนาดใหญ่บินขึ้นจากพื้น รูปที่ ๕-๒๐

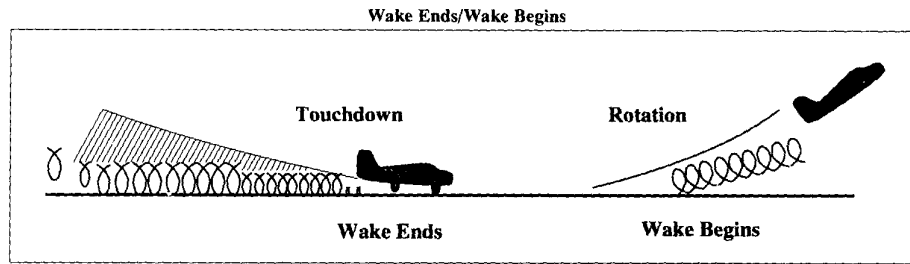
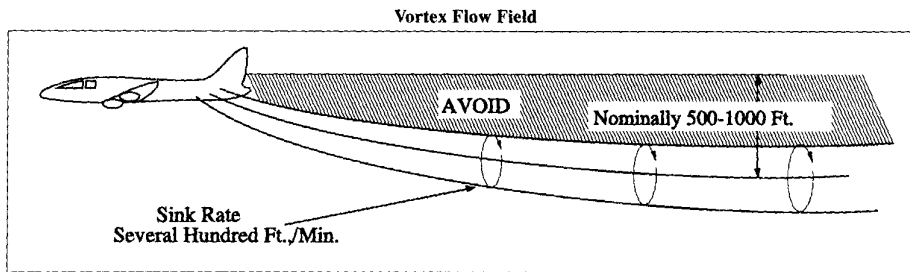


FIG 7-3-3



รูปที่ ๕-๒๐

TURBULENCE INTENSITY		
INTENSITY	AIRCRAFT REACTION	INSIDE AIRCRAFT
 Light	MOMENTARILY CAUSES SLIGHT, ERRATIC CHANGES IN ALTITUDE AND/OR ATTITUDE	UNSECURED OBJECTS MAY BE DISPLACED SLIGHTLY. FOOD SERVICE EASILY CONDUCTED. NO DIFFICULTY IN WALKING
 Moderate	CHANGES IN ALTITUDE AND/OR ATTITUDE. AIRCRAFT REMAINS IN POSITIVE CONTROL. VARIATIONS IN INDICATED AIRSPEED	UNSECURED OBJECTS DISLODGED. FOOD SERVICE AND WALKING DIFFICULT.
 Severe	LARGE ABRUPT CHANGES IN ALTITUDE AND /OR ATTITUDE. LARGE VARIATIONS IN INDICATED AIRSPEED. AIRCRAFT MAY BE MOMENTARILY OUT OF CONTROL.	FOOD SERVICE AND WALKING IMPOSSIBLE.
 Extreme	AIRCRAFT VIOLENTLY TOSSED ABOUT AND IS PRACTICALLY IMPOSSIBLE TO CONTROL. MAY CAUSE STRUCTURAL DAMAGE.	STRONG DESIRE TO LAND.

บทที่ ๖

น้ำแข็งเกาะเครื่องบิน (Aircraft Icing)

๑. กล่าวโดยทั่วไป

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

การเกิดน้ำแข็งจะเกิดได้ทั้งภายในและภายนอกเครื่องยนต์ โดยปกติจะเกิดตามบริเวณส่วนหน้าของปีกและใบพัด เมื่อเครื่องบินบินผ่านเม็ดละอองน้ำที่เย็นกว่าจุดเยือกแข็งภายในกลุ่มเมฆหรือน้ำฟ้าที่แข็งตัวแล้ว (Freezing precipitation) หรือแม้กระทั่งบินในสภาวะอากาศแจ่มใส น้ำแข็งเกาะเครื่องบินยังสามารถเกิดขึ้นขณะอยู่ที่ลานจอด เมื่อมีสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม

น้ำแข็งเกาะเครื่องบินแบ่งออกเป็น ๒ ประเภทใหญ่ ๆ คือน้ำแข็งเกาะลำตัวเครื่องบิน และน้ำแข็งเกาะเครื่องยนต์ (Structural Icing & Induction Icing)

๒. น้ำแข็งเกาะลำตัวเครื่องบิน (Structural Icing) ต้องมีเงื่อนไข ๒ ประการเกิดขึ้นพร้อมกัน จึงจะทำให้มีน้ำแข็งจับเกาะลำตัวเครื่องบิน

๒.๑ อุณหภูมิของอากาศและอุณหภูมิของลำตัวเครื่องบิน (Free air temperature and Aircraft surface temperature) ต้องเท่ากับหรือต่ำกว่า ๐ องศาเซลเซียส

จากการทดลองในอุโมงค์ลมปรากฏว่าเมื่ออากาศที่อิ่มตัวไหลผ่านพื้นผิววัตถุใด ๆ สามารถเกิดน้ำแข็งเกาะวัตถุนั้นได้จนอุณหภูมิสูงถึง ๔ องศาเซลเซียส อุณหภูมิของวัตถุนี้นั้นขึ้นอยู่กับอัตราการระเหยและความกดที่เปลี่ยนไปเนื่องจากการไหลของกระแสอากาศ ในทางกลับกันวัตถุจะร้อนขึ้นจากการเสียดสีและตกกระทบของละอองน้ำ หากเครื่องบินมีความเร็วต่ำกว่า ๔๐๐ นอต ความร้อนและความเย็นดังกล่าวนี้จะลบล้างกันไป ดังนั้น พอจะสรุปได้ว่า น้ำแข็งจะเกาะจับตัวเครื่องบินได้เมื่ออากาศมีอุณหภูมิ ๐ องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า และมีโอกาสเกิดได้น้อยเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า -๔๐ องศาเซลเซียส

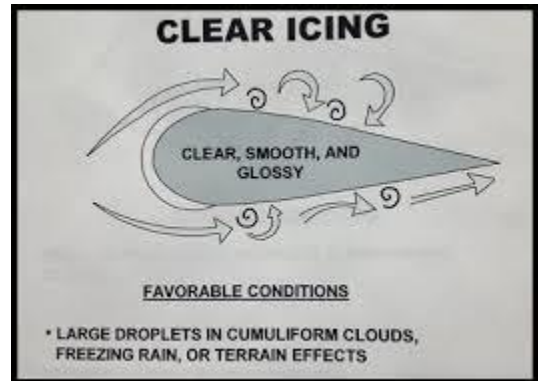
๒.๒ มีเม็ดละอองน้ำเย็นจัดที่มองเห็นได้และความชื้นสูง (Supercooled visible liquid water and High humidity) เช่น เมฆและหมอก

โดยทั่วไปละอองน้ำในอากาศจะไม่แข็งตัวที่ ๐ องศาเซลเซียส ต่างกับน้ำในภาชนะ แต่จะไปแข็งตัวที่ประมาณ -๑๐ ถึง -๔๐ องศาเซลเซียส ละอองน้ำยิ่งมีขนาดเล็กเท่าไรก็จะมีจุดเยือกแข็งต่ำเท่านั้น น้ำค้างแข็ง (Frost) อาจเกิดขึ้นได้ในอากาศแจ่มใสที่มีความชื้นสูง โดยที่อากาศและลำตัวเครื่องบินมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง

๓. ชนิดของน้ำแข็งเกาะตัวเครื่องบิน (Type of Structural Icing) โดยทั่วไปมี ๓ ชนิดใหญ่ ๆ คือน้ำแข็งใส (Clear ice) , น้ำแข็งขุ่น (Rime ice) และน้ำค้างแข็ง (Frost)

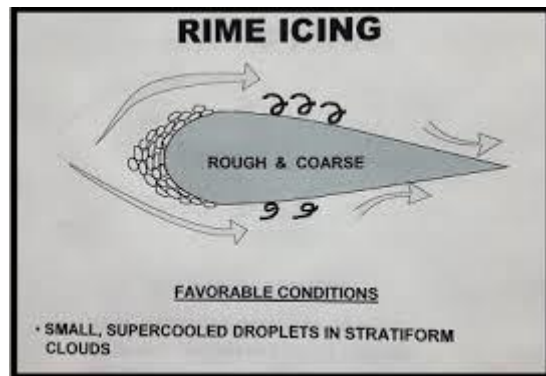
๓.๑ น้ำแข็งใส (Clear ice หรือ Glaze) เป็นปรากฏการณ์ที่ร้ายแรงที่สุด เพราะน้ำแข็งเกาะแน่นอยู่กับพื้นผิวเพียงอย่างเดียว เกิดจากเม็ดละอองน้ำที่เย็นกว่าจุดเยือกแข็งขนาดใหญ่ ๆ มากระทบกับพื้นผิวของเครื่องบินแล้วกระจายออกไปเกิดการแข็งตัว ณ ที่อุณหภูมิต่ำกว่า ๐ องศาเซลเซียส เมื่อเม็ดละอองน้ำกระทบกับผิวเครื่องบิน แล้วแผ่ตัวออกเคลือบผิวเครื่องบินและเย็นตัวลงอย่างช้า ๆ ทำให้มีฟองอากาศปะปนอยู่ในน้ำแข็งน้อยมาก จึงมองเห็นเป็นน้ำแข็งใส ซึ่งยากแก่การทำลายเป็นอย่างยิ่ง น้ำแข็งใสนี้มักจะเกิดในบริเวณที่มีอุณหภูมิระหว่าง ๐ ถึง -๑๐ องศาเซลเซียส แต่สำหรับในเมฆคิวมูโลนิมบัส (Cumulonimbus) นั้น สามารถเกิดได้จนอุณหภูมิเย็นลงถึง -๒๕ องศาเซลเซียส ก็มี ถ้าเม็ดละอองน้ำที่เย็นกว่าจุดเยือกแข็งมีขนาดใหญ่มาก ก็

ทำให้เกิดการสะสมน้ำแข็งใสมากขึ้น สภาวะที่ทำให้เกิดน้ำแข็งใสมักจะเกิดจากเมฆก้อน (Cumuliform cloud) และมักเกิดอย่างรวดเร็วขณะที่บินผ่านฝนแข็ง (Freezing rain) หรือฝนละออง (Drizzle)

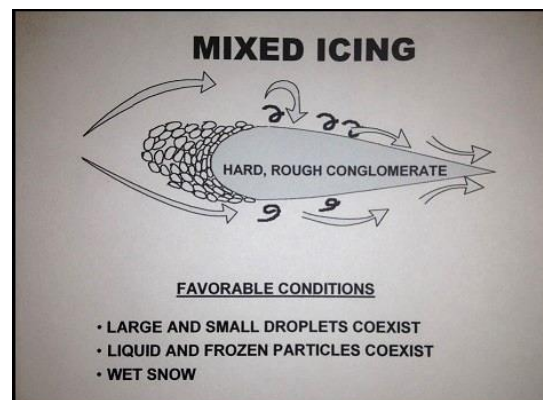


รูปที่ ๖-๑

๓.๒ น้ำแข็งขุ่น (Rime ice) เกิดจากการเย็นลงอย่างทันทีทันใดของเม็ดละอองน้ำขนาดเล็กที่เย็นกว่าจุดเยือกแข็ง เมื่อมากระทบกับพื้นผิวของเครื่องบิน โดยทั่วไปแล้วจะเกิดได้ตั้งแต่อุณหภูมิ ๐ ถึง -๔๐ องศาเซลเซียส แต่มีโอกาสเกิดได้มากที่สุดที่ย่านอุณหภูมิ -๑๐ ถึง -๒๐ องศาเซลเซียส เม็ดละอองน้ำเล็ก ๆ เหล่านี้จะแข็งตัวในลักษณะที่ยังเป็นหยดอยู่ ดังนั้นจึงมีที่ว่างหรือฟองอากาศในระหว่างหยดต่อหยด จึงมองเห็นเป็นสีขาวขุ่นและทึบแสง ซึ่งทำลายได้ง่ายกว่าน้ำแข็งใส น้ำแข็งขุ่นนี้ไม่แผ่กระจายออกไปเหมือนน้ำแข็งใส ส่วนใหญ่แล้วน้ำแข็งขุ่นจะเกิดเมื่อบินผ่านเมฆแผ่น (Stratiform cloud) แต่ก็สามารถเกิดได้เมื่อบินผ่านเมฆก้อน ซึ่งในสภาวะพายุฝนฟ้าคะนองนั้น พบว่าสามารถเกิดได้แม้อุณหภูมิจะลดลงถึง -๔๐ องศาเซลเซียส



รูปที่ ๖-๒



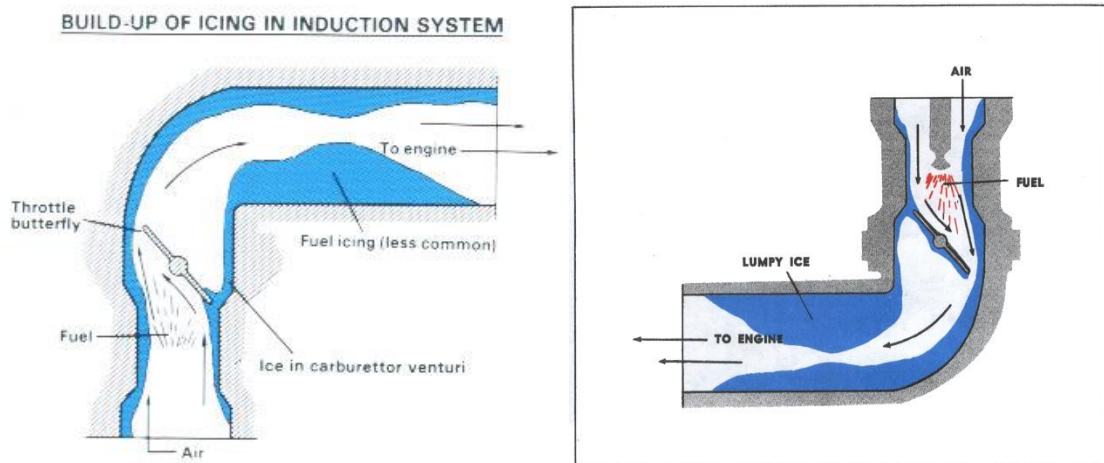
รูปที่ ๖-๓

๓.๓ น้ำค้างแข็ง (Frost) มีลักษณะคล้ายที่ปรากฏบนใบไม้ในเวลาเช้ามืดของวันที่มีเมฆมาก และอุณหภูมิของพื้นผิวต่ำกว่า ๐ องศาเซลเซียส น้ำค้างแข็งเป็นผลึกสีขาวบางๆ คล้ายหิมะมาก

๔. น้ำแข็งเกาะเครื่องยนต์ (Induction Icing)

นอกจากน้ำแข็งเกาะลำตัวเครื่องบินได้แล้ว ยังสามารถเกาะเครื่องยนต์ได้อีก ไม่ว่าจะเป็นที่ระบบนำอากาศเข้า หรือที่ตัวเชื้อเพลิงเอง ซึ่งล้วนเป็นส่วนประกอบสำคัญของการทำงานของเครื่องยนต์ นักบินจำเป็นต้องพิจารณาถึงความเป็นไปได้ที่น้ำแข็งจะเกาะเครื่องยนต์ในระหว่างบินในอากาศด้วย น้ำแข็งเกาะเครื่องยนต์มีส่วนทำให้กำลังของเครื่องยนต์ลดลง เนื่องจากน้ำแข็งเป็นตัวกีดขวางทางเดินของกระแสอากาศที่จะไหลเข้าไปในเครื่องยนต์ มีผลกระทบต่อเครื่องวัดปริมาณเชื้อเพลิงและชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่เคลื่อนไหวได้ อาจถูกน้ำแข็งเกาะจนขยับไม่ได้

๔.๑ น้ำแข็งเกาะในคาร์บูเรเตอร์ (Carburetor Icing) การเกิดน้ำแข็งในคาร์บูเรเตอร์นั้น เป็นกรณีพิเศษในจำพวกการเกิดน้ำแข็งในขณะไม่มีเมฆ (Clear air Icing) ซึ่งความจริงแล้วเป็นเรื่องในเชิงวิชาการ ไม่ใช่เป็นเรื่องในทางอุตุนิยมวิทยาโดยตรง การเย็นลงเนื่องจากการกลายเป็นไอของเชื้อเพลิง และความกดอากาศที่ลดลงขณะอากาศผ่านคาร์บูเรเตอร์เป็นผลทำให้เกิดน้ำแข็งชนิดนี้ ถ้าหากความชื้นในอากาศสูงการเกิดน้ำแข็งในคาร์บูเรเตอร์อาจเกิดที่อุณหภูมิ ๒๑ องศาเซลเซียส ก็ได้ แต่ที่รุนแรงที่สุดมักจะเกิดระหว่าง ๑๐-๑๕ องศาเซลเซียส น้ำแข็งชนิดนี้บางที่เกิดขึ้นขณะบินเข้าไปในเมฆ อันตรายจากการเกิดน้ำแข็งชนิดนี้นับว่ารุนแรงที่สุด เพราะจะทำให้เครื่องยนต์ดับได้ เครื่องควบคุมความร้อนในคาร์บูเรเตอร์นั้นนับว่าเป็นเครื่องช่วยกำจัดและป้องกันการเกิดน้ำแข็งชนิดนี้ได้ดีที่สุด คือทำให้อากาศที่จะใช้อุ่นเสียก่อนที่จะเข้าไปในคาร์บูเรเตอร์



รูปที่ ๖-๔

๔.๒ การเกิดน้ำแข็งในเชื้อเพลิง (Fuel Icing) สำหรับเครื่องบินไอพ่นแล้ว น้ำสามารถเข้าไปผสมในเชื้อเพลิงได้ง่าย เชื้อเพลิงสามารถดูดซึมน้ำที่มาจากความชื้นในอากาศได้บางส่วน น้ำดังกล่าวนี้มากเพียงพอที่จะเกิดเป็นน้ำแข็งในระบบเชื้อเพลิงเมื่ออุณหภูมิของเชื้อเพลิงเท่ากับหรือต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ ฉะนั้นในการเติมเชื้อเพลิงในเวลาฝนตกหรือมีความชื้นมาก น้ำจะผสมเข้าไปกับเชื้อเพลิง เมื่อเครื่องบินนั้นขึ้นไปสูงๆ อากาศก็ยิ่งเย็นลง เชื้อเพลิงสามารถดูดซึมน้ำได้น้อยลง จึงทำให้มีน้ำแยกตัวมาเกาะอยู่ตามพื้นผิวของน้ำมัน และเมื่อมีความเย็นมากพอน้ำนี้ก็จะเป็นน้ำแข็ง การป้องกันก็คือทำให้เชื้อเพลิงอุ่นเสียก่อนที่จะผ่านเข้าไปในหม้อกรองเชื้อเพลิง โดยการติดตั้งเครื่องทำความร้อนที่เหนือหม้อกรองเชื้อเพลิง ซึ่งความร้อนนี้อาจมาจากกระแสไฟฟ้าหรือเครื่องยนต์ก็ได้

๕. สภาพอากาศที่เอื้ออำนวยให้เกิดน้ำแข็งเกาะเครื่องบิน

บริเวณที่มีโอกาสเกิดน้ำแข็งเกาะเครื่องบิน ในบรรยากาศโลกแล้วส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและลักษณะของเมฆ ซึ่งแปรเปลี่ยนได้ตามระยะสูง, สถานที่, สภาพอากาศ, ฤดูกาลและภูมิประเทศ

๕.๑ อุณหภูมิ โดยทั่วไปน้ำแข็งเกาะเครื่องบินจะถูกจำกัดไว้ในชั้นบรรยากาศระหว่าง ๐ ถึง - ๔๐ องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตามก็มีรายงานว่าเกิดน้ำแข็งในบริเวณที่ต่ำกว่า ๐ องศาเซลเซียสในส่วนบนของเมฆฝนฟ้าคะนอง ที่บริเวณอุณหภูมิ ๐ ถึง - ๑๐ องศาเซลเซียสมักเกิดน้ำแข็งใส ที่บริเวณอุณหภูมิ - ๑๐ ถึง - ๑๕ องศาเซลเซียส จะเกิดทั้งน้ำแข็งหุ่นและใสผสมกัน ที่บริเวณอุณหภูมิ - ๑๕ ถึง - ๒๐ องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า จะเกิดน้ำแข็งชนิดหุ่น

๕.๒ เมฆ

เมฆอลโตคิวมูลัส (Alto cumulus) ประกอบด้วยเม็ดละอองน้ำอยู่เพียงเล็กน้อย บางครั้งอาจมีผลึกน้ำแข็งรวมอยู่ด้วย น้ำแข็งอาจก่อตัวจับเกาะเครื่องบินในลักษณะที่เป็นแผ่นและชั้นบางๆ ที่ผิวลำตัวหรือปีก และจะรุนแรงกว่า หากผิวเครื่องบินมีสัณฐานที่โค้งมน

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

เมฆสเตรโตคิวมูลัส (Stratocumulus) ประกอบไปด้วยเม็ดละอองน้ำขนาดเล็กซึ่งมีปริมาณน้อย ความหนาของเมฆนี้มักไม่เกิน ๑ กิโลเมตร ดังนั้นจึงง่ายต่อการนำเครื่องบินไต่ขึ้นไปในระดับที่สูงกว่า สภาพน้ำแข็งเกาะเครื่องบินในเมฆนี้ไม่ค่อยรุนแรง หากไม่ได้บินอยู่ในเมฆเป็นเวลานาน

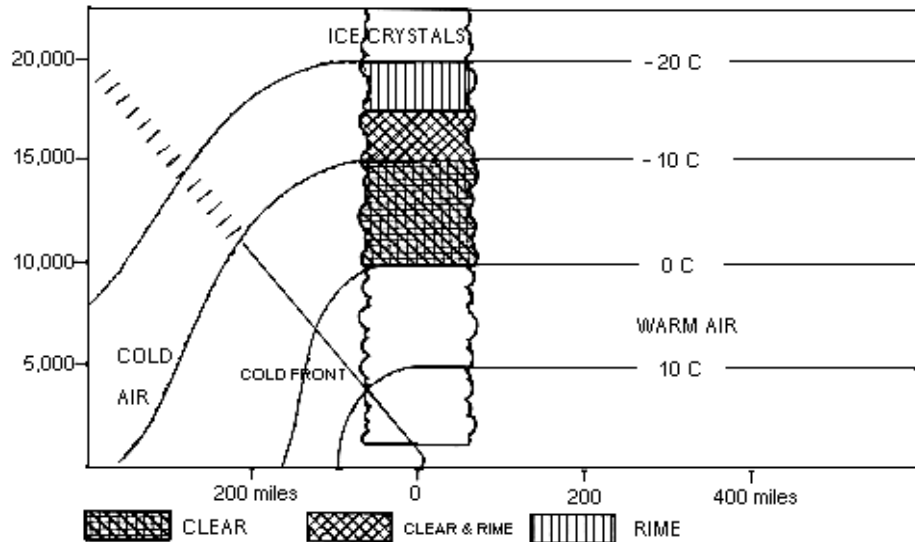
เมฆที่เกิดจากการพาความร้อน (Convective cloud) น้ำแข็งอาจเกาะเครื่องบินอย่างรุนแรง หากอยู่ในเมฆคิวมูลัส (Cumulus) ที่มีขนาดใหญ่หรือเมฆคิวโมโลนิมบัส การเพิ่มระยะสูงอาจไม่ลดความรุนแรงของน้ำแข็งที่เกิดอยู่ นอกจากในย่านที่มีอุณหภูมิของอากาศระหว่าง - ๒๐ ถึง - ๔๐ องศาเซลเซียส สภาพน้ำแข็งเกาะเครื่องบินจะลดความรุนแรงลง เนื่องจากในระดับนี้หยดน้ำอยู่ในสภาพของผลึกน้ำแข็ง แต่เคยมีบางครั้งที่น้ำแข็งจะก่อตัวคงความรุนแรงต่อไปจนอุณหภูมิลดลงถึง - ๔๐ องศาเซลเซียส

เมฆเซอร์รัส (Cirrus) น้ำแข็งเกาะเครื่องบินจะเกิดขึ้นได้ยากในเมฆเซอร์รัส แม้ว่าเมฆนี้บางครั้งจะยังมีละอองน้ำประกอบอยู่บ้าง ภายในเมฆเซอร์รัสหนาที่บนยอดของเมฆคิวโมโลนิมบัสที่กระแสอากาศไหลขึ้นพัดพาเอาละอองน้ำขึ้นไปถึง นั้น อาจเกิดน้ำแข็งเกาะเครื่องบินได้บ้างเล็กน้อย

๕.๓ การเกิดน้ำแข็งในแนวปะทะอากาศ (Frontal Icing) การเกิดน้ำแข็งเกาะเครื่องบินส่วนใหญ่ที่ได้รับรายงาน มักเกิดบริเวณใกล้กับแนวปะทะอากาศ นักบินจึงควรระวังเมื่อบินผ่านแนวปะทะอากาศ

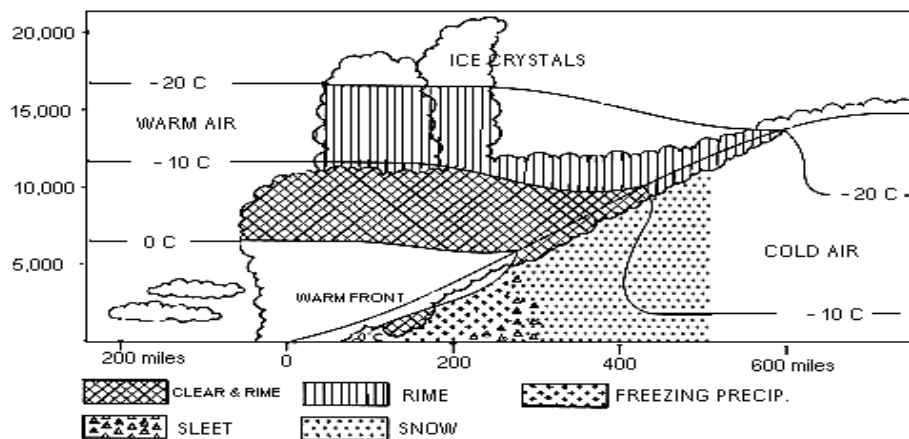
๕.๓.๑ การเกิดน้ำแข็งในแนวปะทะอากาศเย็นและแนวพายุฟ้าคะนอง โดยทั่ว ๆ ไปแล้ว ย่านที่เกิดน้ำแข็งจะเป็นบริเวณแคบ ๆ ซึ่งส่วนมากเกิดร่วมกับเมฆก้อน ย่านการเกิดน้ำแข็งจะมีความหนาประมาณ ๑๐,๐๐๐ ฟุต ชนิดน้ำแข็งส่วนมากเป็นน้ำแข็งใส การเกิดน้ำแข็งรุนแรงมากเมื่ออากาศอุ่นนั้นมีการทรงตัวไม่ดี จากรูปที่ ๖-๕ จะเห็นว่าย่านที่เป็นน้ำแข็งจะแผ่กว้างออกไปประมาณ ๑๐๐ ไมล์ และสูงจากผิวพื้นประมาณ ๑๐,๐๐๐ ฟุต

ชนิดของน้ำแข็งที่เกิดขึ้นมีลักษณะต่าง ๆ กันดังนี้ น้ำแข็งใสเกิดขึ้นระหว่างอุณหภูมิ ๐ ถึง - ๑๐ องศาเซลเซียส น้ำแข็งใสผสมน้ำแข็งหุ่นจะอยู่ระหว่าง - ๑๐ ถึง - ๑๕ องศาเซลเซียส น้ำแข็งหุ่นจะอยู่ระหว่าง - ๑๐ ถึง - ๒๐ องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามการเกิดน้ำแข็งทุกชนิดอาจเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิเย็นกว่าที่กล่าวมาแล้วได้ เช่นเกิดน้ำแข็งใสที่ - ๒๕ องศาเซลเซียส และน้ำแข็งหุ่นที่ - ๔๐ องศาเซลเซียส



รูปที่ ๖-๕

๕.๓.๒ การเกิดน้ำแข็งในแนวปะทะอากาศอุ่นและแนวปะทะอากาศคงที่ โดยทั่วไปแล้วแนวปะทะอากาศทั้งสองชนิด มีเมฆแผ่นแผ่ตัวออกไปเป็นบริเวณกว้าง ทำให้บริเวณที่เกิดน้ำแข็งแผ่กว้างออกไปด้วย ย่านการเกิดน้ำแข็งจะมีความหนาประมาณ ๑๐,๐๐๐ ฟุต ชนิดของน้ำแข็งส่วนมากเป็นน้ำแข็งขุ่น ถ้าอากาศอุ่นมีการทรงตัวไม่ดีจะเป็นพวกเมฆก้อนและการเกิดน้ำแข็งเกาะก็จะรุนแรงมากกว่าที่เกิดจากเมฆแผ่น รูปที่ ๖-๖ แสดงบริเวณที่เกิดน้ำแข็งแผ่กว้างออกไปถึง ๕๐๐ ไมล์ และสูงประมาณ ๑๗,๐๐๐ ฟุต จากผิวพื้น



รูปที่ ๖-๖

เมื่อบินอยู่ในระดับอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง จะมีบริเวณที่เกิดน้ำแข็งเกาะเครื่องบินในสภาวะน้ำฟ้าแข็ง(Freezing precipitation) ซึ่งเกิดจากหยดน้ำตกผ่านชั้นบรรยากาศที่อุ่นกว่าในระดับบน และมากระทบกับผิวเครื่องบินซึ่งเย็นจัด ในกรณีนี้อาจจะเกิดน้ำแข็งใสเกาะเครื่องบินได้ หลีกเสี่ยงได้โดยการบินไต่ขึ้นสู่ระดับที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดเยือกแข็ง

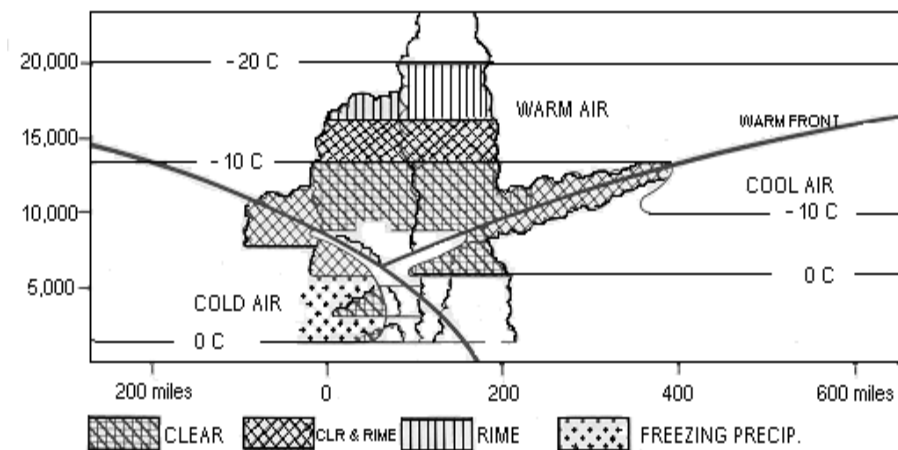
บริเวณที่เกิดน้ำแข็งในแนวปะทะอากาศอุ่น พอจะสรุปได้ว่าบริเวณน้ำแข็งใสผสมน้ำแข็งขุ่นจะอยู่ระหว่าง ๐ ถึง - ๑๐ องศาเซลเซียส น้ำแข็งขุ่นจะอยู่ระหว่าง - ๑๐ ถึง - ๒๐ องศาเซลเซียส และบางครั้งอาจเกิดที่อุณหภูมิต่ำกว่า - ๒๐ องศาเซลเซียสก็ได้

๕.๓.๓ การเกิดน้ำแข็งในแนวปะทะอากาศปิด แนวปะทะอากาศชนิดนี้มักประกอบด้วยเมฆแผ่นและเมฆก้อนปนกัน ทำให้บริเวณที่จะเกิดน้ำแข็งแผ่เป็นบริเวณกว้าง ย่านที่เกิดน้ำแข็งเกาะเครื่องบินมีความหนาประมาณ ๒๐,๐๐๐ ฟุต ชนิดของน้ำแข็งจะเป็นทั้งน้ำแข็งใส, น้ำแข็งขุ่น และทั้งสองชนิดปนกัน ถ้าอากาศมีการทรงตัวไม่ดี (Unstable) การเกิดน้ำแข็งจะรุนแรงมาก ในรูปที่แสดงไว้นั้น อากาศบริเวณที่เกิดน้ำฟ้าแข็ง (Freezing precipitation Area) จะครอบคลุมบริเวณกว้างมาก ดังนั้นพึงระลึกเสมอว่า เมื่อหยดน้ำตกลงมาจากบริเวณเบื้องบนที่มีอุณหภูมิสูงกว่า จะทำให้เกิดน้ำแข็งเกาะเครื่องบินที่เป็นอันตรายมากที่สุด ชนิดของน้ำแข็งโดยสัมพันธ์กับอุณหภูมิมีดังนี้

น้ำแข็งใส ๐ ถึง - ๑๐ องศาเซลเซียส

น้ำแข็งใสผสมน้ำแข็งขุ่น - ๑๐ ถึง - ๑๕ องศาเซลเซียส

น้ำแข็งขุ่น - ๑๕ ถึง - ๒๐ องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า



รูปที่ ๖-๗

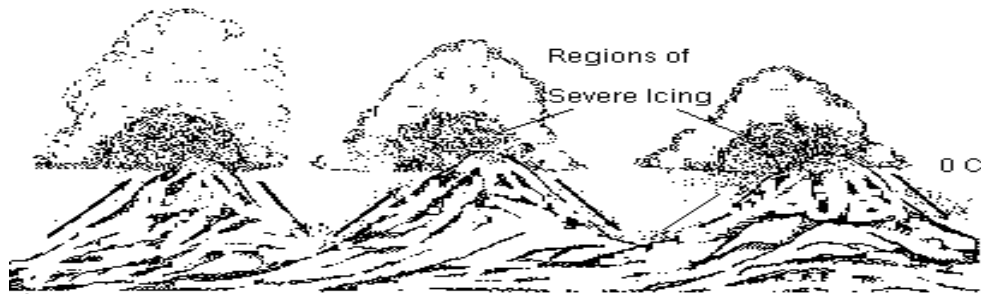
ข้อสังเกต เครื่องบินไอพ่นจะไม่เกิดน้ำแข็งเกาะในขณะที่บินเพราะระดับที่เครื่องบินไอพ่นบินนั้นจะบินเหนือบริเวณที่เกิดน้ำแข็งหรือระหว่าง ๐ ถึง - ๒๐ องศาเซลเซียส การเกิดน้ำแข็งจะเกิดระหว่างการไต่ขึ้นและร่อนลงเท่านั้น

๕.๔ การเกิดน้ำแข็งในมวลอากาศ (Air-mass Icing) มวลอากาศที่มีการทรงตัวดี (Stable) มักจะมีเมฆสเตรตัส (Stratus) ซึ่งจะช่วยขยายบริเวณเกิดน้ำแข็งให้กว้างออกไป เมฆชนิดนี้จะเป็นเมฆที่ทำให้เกิดน้ำแข็งได้อย่างรุนแรง ถ้าหากนักบินไม่เตรียมการป้องกันหรือเปลี่ยนระยะสูงหลีกเลี่ยงเสียก่อน เมฆแผ่นโดยทั่วไปนั้นมักหนาไม่เกิน ๓,๐๐๐ ฟุต แต่อาจเกิดซ้อนและติดต่อกันหลายระดับจนทำให้มองดูแล้วหนากว่านั้น ในกรณีนี้ย่านที่เกิดน้ำแข็งมักจะมีควมหนามากที่สุดไม่เกิน ๖,๐๐๐ ฟุต ฉะนั้นนักบินควรคาดว่าจะเกิดน้ำแข็งขุ่นในเมฆแผ่นเมื่ออุณหภูมิของอากาศต่ำกว่า ๐ องศาเซลเซียส ไว้เสมอ

๕.๕ ฤดูกาล น้ำแข็งเกาะเครื่องบินเกิดขึ้นได้ทุกฤดูกาล แต่ส่วนมากเกิดในฤดูหนาวโดยเฉพาะประเทศในเขตอบอุ่น ซึ่งมีระดับเยือกแข็งในฤดูหนาวอยู่ต่ำกว่าฤดูร้อน ประเทศที่อยู่ในเขตละติจูดสูง เช่น แคนาดาหรืออลาสก้าแล้ว จะเกิดน้ำแข็งเกาะเครื่องบินได้รุนแรงมากที่สุดในฤดูใบไม้ผลิและฤดูใบไม้ร่วง ในฤดูหนาวบริเวณแถบขั้วโลกอากาศจะเย็นเกินไปจนมีความชื้นไม่มากพอที่จะทำให้เกิดสภาวะน้ำแข็งเกาะเครื่องบิน และระบบเมฆส่วนใหญ่ก็จะเป็นเมฆแผ่นที่ประกอบด้วยผลึกน้ำแข็งเสียส่วนมาก

๕.๖ ลักษณะภูมิประเทศ (Terrain)

บริเวณที่เป็นภูเขา มักเกิดน้ำแข็งเกาะเครื่องบินได้มากและรุนแรงกว่าภูมิประเทศแบบอื่น แนวเทือกเขาทำให้เกิดกระแสอากาศไหลขึ้นทางด้านรับลม ซึ่งจะช่วยพุงละอองน้ำไว้จำนวนมากพอที่จะกลั่นตัวและตกลงมาเป็นฝนบริเวณเทือกเขา การเคลื่อนตัวของระบบแนวปะทะผ่านแนวเทือกเขา ทำให้เกิดการยกตัวของอากาศตามแนวปะทะควบคู่ไปกับการยกตัวตามแนวเทือกเขา มีผลทำให้เกิดบริเวณที่น้ำแข็งจับเกาะเครื่องบินได้อย่างรุนแรง บริเวณที่เกิดน้ำแข็งได้รุนแรงที่สุดคือบริเวณสันเขาและด้านรับลมของเทือกเขา ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ประมาณ ๕,๐๐๐ ฟุต เหนือยอดเขา และสูงขึ้นไปได้อีกเมื่อมีเมฆก้อนก่อตัวขึ้น



รูปที่ ๖-๘

.....