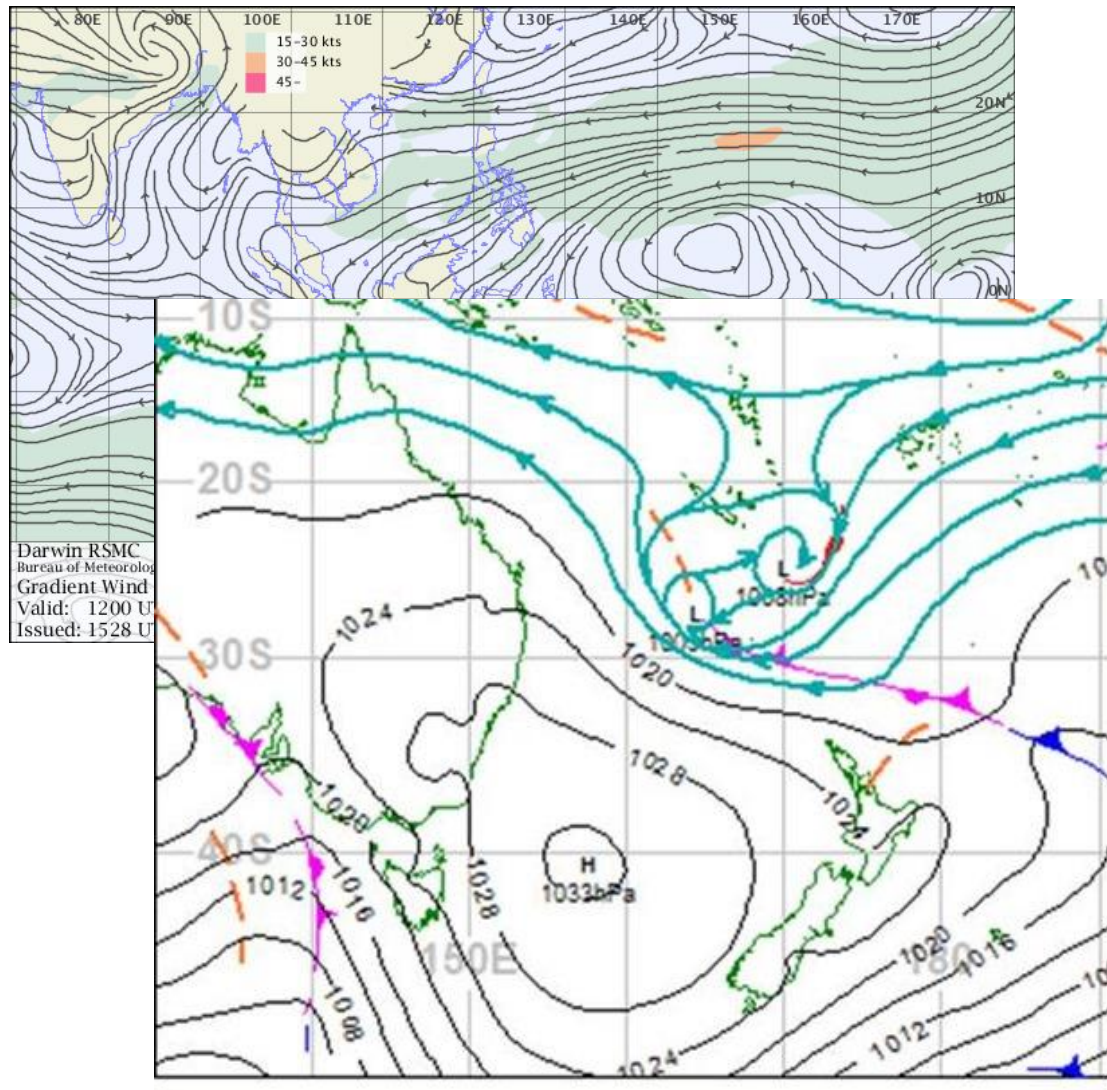


การวิเคราะห์แผนที่อากาศชั้นบน (Upper Air Analysis)



กองข่าวอากาศ

กองบัญชาการควบคุมการปฏิบัติทางอากาศ

คำนำ

นักพยากรณ์อากาศมีความพยายามอย่างมากในการหาแนวทางในการพยากรณ์สภาพอากาศในเขตร้อนให้มีความถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่เกิดขึ้น จนกระทั่งในปี 1909 Sandstrom ได้นำเสนอการวิเคราะห์เส้นสายกระแส (Streamline analysis) ซึ่งเป็นนวัตกรรมใหม่ ต่อมาในปี 1911 Bjerkness ได้พัฒนาต่อยอดและนำมาประยุกต์ใช้กับการพยากรณ์อากาศทั้งในเขตละติจูดกลางและเขตร้อน ผลทำให้การพยากรณ์อากาศมีความถูกต้องมากขึ้นโดยเฉพาะการพยากรณ์สภาพอากาศในเขตร้อน

การวิเคราะห์แผนที่อากาศชั้นบน (Upper air analysis) เป็นวิชาว่าด้วยการวิเคราะห์เส้นสายกระแสและเส้นความเร็วลมเท่า เอกสารประกอบการเรียนการสอนได้ถูกเรียบเรียงและใช้ถ่ายทอดมาเป็นเวลายาวนาน ในทางปฏิบัติพบว่ายังมีการถกเถียงกันถึงแนวทางปฏิบัติที่ถูกต้องเหมาะสมในบางประเด็น ซึ่งไม่สามารถแสวงหาคำตอบได้จากเอกสารการเรียนการสอน หรือมีข้อความที่เกี่ยวข้องแต่มีความคลุมเครือ ดังนั้น ผู้เรียบเรียงจึงได้รวบรวมประเด็นปัญหาเหล่านั้นพร้อมแสวงหาคำตอบ และถือโอกาสปรับปรุงเอกสารประกอบการเรียนการสอนในคราวเดียวกันนี้ ผู้เรียบเรียงได้นำเอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชาการวิเคราะห์แผนที่อากาศชั้นบนของท่านอาจารย์ น.ท.จำรัส คุรุบุญยงค์ อาจารย์ น.อ.จรรยา ทีเจริญ อาจารย์ น.ท.สำรวล หลักรอดและต้นฉบับที่เป็นภาษาอังกฤษ รวมทั้งค้นคว้าเอกสาร ตำรา บทความที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติมทางอินเทอร์เน็ตมาทำการแปล เรียบเรียงปรับปรุง จัดเรียงเนื้อหาใหม่ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โดยเริ่มจากการนำเสนอคำศัพท์เฉพาะในการวิเคราะห์ฯ หลักเกณฑ์ เทคนิคและข้อแนะนำต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ ตลอดจนรูปแบบจำลอง (model) ของเส้นสายกระแสของตัวการสำคัญที่ก่อให้เกิดสภาพอากาศในเขตร้อน และยังคงแบบฝึกหัดเดิมที่มีอยู่เพื่อให้ผู้เรียนหรือผู้สนใจนำไปฝึกปฏิบัติเพื่อให้เกิดทักษะความชำนาญ ผู้เรียบเรียงขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ผู้เรียบเรียงหวังว่าเอกสารฉบับนี้จะเป็นเอกสารอ้างอิงและเป็นประโยชน์ต่อครูผู้สอน นายทหารนักเรียนที่เข้าอบรมในหลักสูตรสายวิทยาการอู่ศูนย์วิทยา ตลอดจนผู้สนใจใฝ่รู้ทั้งหลาย หากมีข้อแนะนำหรือข้อผิดพลาดประการใด ผู้เรียบเรียงขอน้อมรับและขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

น.อ.เสนีย์ ฉัตรวิไล

ผู้เรียบเรียง

ต.ค. 66

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 ศัพท์เฉพาะในการวิเคราะห์เส้นลายกระแสและเส้นความเร็วลมเท่า (Terminology of Streamline and Isotach Analysis)	1
บทที่ 2 การวิเคราะห์เส้นลายกระแสและเส้นความเร็วลมเท่า (Method of Streamline and Isotach Analysis)	11
บทที่ 3 รูปแบบแบบจำลองของเส้นลายกระแสและเส้นความเร็วลมเท่า (Streamline/Isotach model patterns)	31
บทที่ 4 การวิเคราะห์เส้นลายกระแสบริเวณพายุหมุนเขตร้อนและกระแสลมกรด (Tropical cyclone and Jet stream streamline analysis)	43

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1-1 เครื่องมือและเส้นลายกระแสของ Sandstrom	2
รูปที่ 1-2 Cyclone Model โดย Vilhelm Bjerknes	2
รูปที่ 1-3 เส้นลายกระแส (Streamlines)	3
รูปที่ 1-4 ก แกนของแนวลมพัดเข้าหากัน	4
รูปที่ 1-4 ข แกนของแนวลมพัดแยกออก	4
รูปที่ 1-5 Confluence Diffluence Convergence และ Divergence	5
รูปที่ 1-6 คัสป์ (Cusp)	6
รูปที่ 1-7 แบบจำลองเส้นลายกระแสของ Highs และ Lows	6
รูปที่ 1-8 ก จุดเป็นกลาง (Neutral point)	7
รูปที่ 1-8 ข การไหลอากาศบริเวณจุดเป็นกลาง	7
รูปที่ 1-8 ค จุดเป็นกลางระหว่าง singular point ของ anticyclone	8
รูปที่ 1-8 ง เส้นลายกระแสในบริเวณไซโคลนที่ฝังตัวอยู่ในลมฝ่ายตะวันออก	8
รูปที่ 1-9 ก เส้นลายกระแสที่มีลักษณะเป็นคลื่น	9
รูปที่ 1-9 ข คลื่นแผ่ (damped wave)	9
รูปที่ 1-10 เส้นความเร็วลมเท่า (Isotach)	10
รูปที่ 2-1 ก เส้นทิศทางลมเท่า (Isogon) และทิศทางลม (ศรลม)	11
รูปที่ 2-1 ข เส้นประกอบย่อย (เส้นสั้นดำทึบ) และแนวเส้นลายกระแส (เส้นประ)	12
รูปที่ 2-2 เส้นทิศทางลมเท่า (Isogons) บริเวณ Singular point	13
รูปที่ 2-3 ก ข้อมูลแผนที่อากาศชั้นบนที่ระดับ 850 hPa	13
รูปที่ 2-3 ข จุด singular point	14
รูปที่ 2-3 ค การจำแนกทิศทางลมเท่าบริเวณจุด singular points	14
รูปที่ 2-3 ง เส้นประกอบย่อย	15
รูปที่ 2-3 จ แนวเส้นลายกระแสดังวิธีวิเคราะห์เส้นทิศทางลมเท่า	15
รูปที่ 2-4 ก ข้อมูลการตรวจอากาศชั้นบน	16
รูปที่ 2-4 ข การจำแนกทิศทางลมเท่าบริเวณจุด singular points และเส้นทิศทางหลัก	16
รูปที่ 2-4 ค การจำแนกทิศทางลมเท่าทุก ๆ 30 องศา	17

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

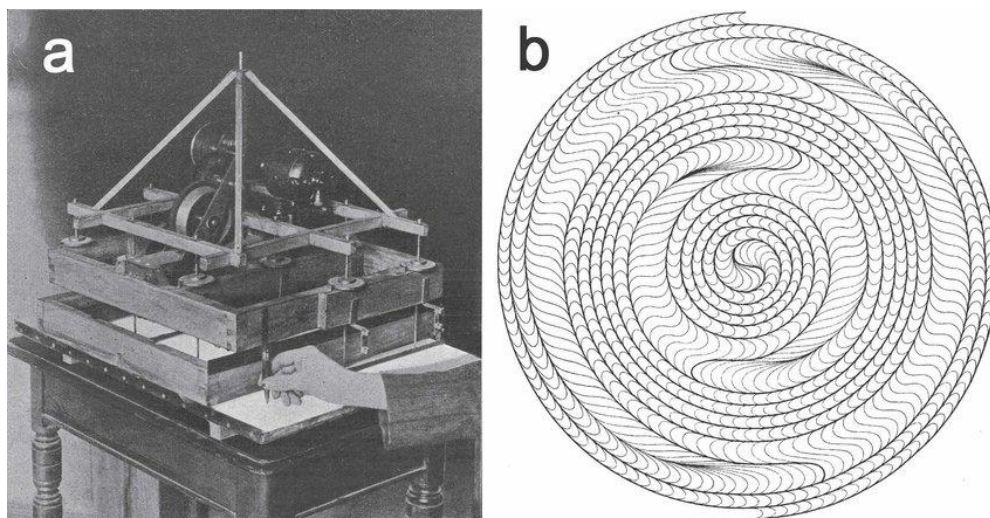
	หน้า
รูปที่ 2-4 ง การเขียนเส้นประกอบย่อย	17
รูปที่ 2-4 จ การลากเส้นลายกระแสด้วยวิธีวิเคราะห์เส้นทางลมเท่า (Isogon)	18
รูปที่ 2-5 ก เส้นลายกระแสบนไดเวอร์เจนซ์	19
รูปที่ 2-5 ข เส้นลายกระแสบนคอนเวอร์เจนซ์	19
รูปที่ 2-6 การวิเคราะห์เส้นลายกระแสบนตรง ที่ระดับ 300 hPa (ทอ.อเมริกัน)	22
รูปที่ 2-7 ก ไดเวอร์เจนซ์ความเร็ว	23
รูปที่ 2-7 ข คอนเวอร์เจนซ์ความเร็ว	23
รูปที่ 2-7 ค ไดเวอร์เจนซ์ความเร็วและทิศทาง	23
รูปที่ 2-7 ง คอนเวอร์เจนซ์ความเร็วและทิศทาง	23
รูปที่ 2-8 ก เส้นความเร็วลมเท่าบริเวณจุดเป็นกลาง (neutral point)	24
รูปที่ 2-8 ข เส้นความเร็วลมเท่าบริเวณการหมุนเวียนแบบไซโคลนและแอนติไซโคลน	24
รูปที่ 2-9 บริเวณพื้นที่ความเร็วสูงสุดตามแนวแกนไดเวอร์เจนซ์(A)และคอนเวอร์เจนซ์(B)	25
รูปที่ 2-10 บริเวณพื้นที่ความเร็วสูงสุดตามแนวกระแสลมค้า	26
รูปที่ 2-11 ตำแหน่งเส้นความเร็วลมเท่าสูงสุดและต่ำสุด (Maxima and Minima isotach)	27
รูปที่ 2-12 การวิเคราะห์เส้นลายกระแสบนและเส้นความเร็วลมเท่าในระดับต่ำบริเวณ ด้านตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิกเหนือในช่วงฤดูร้อน	28
รูปที่ 3-1 รูปแบบของเส้นลายกระแสบนในระดับต่ำ	32
รูปที่ 3-2 รูปแบบร่องมรสุม (Equatorial Trough) กำลังแรง (active)	33
รูปที่ 3-3 รูปแบบของ Monsoon trough	34
รูปที่ 3-4 รูปแบบของ Tropical Upper Tropospheric Trough (TUTT) ในซีกโลกเหนือ	35
รูปที่ 3-5 รูปแบบของ TUTT ในลักษณะของ Cut off low ในซีกโลกเหนือ	36
รูปที่ 3-6 ร่องความกดอากาศต่ำ (Trough) ในซีกโลกเหนือ	37
รูปที่ 3-7 ลิ่มความกดอากาศสูง (Ridge) ในซีกโลกเหนือ	38
รูปที่ 3-8 รูปแบบพื้นฐานของแนวปะทะอากาศในระดับต่ำ (Basic low level frontal pattern)	39

บทที่ 1

ศัพท์เฉพาะในการวิเคราะห์เส้นลายกระแสและเส้นความเร็วลมเท่า (Terminology of Streamline and Isotach Analysis)

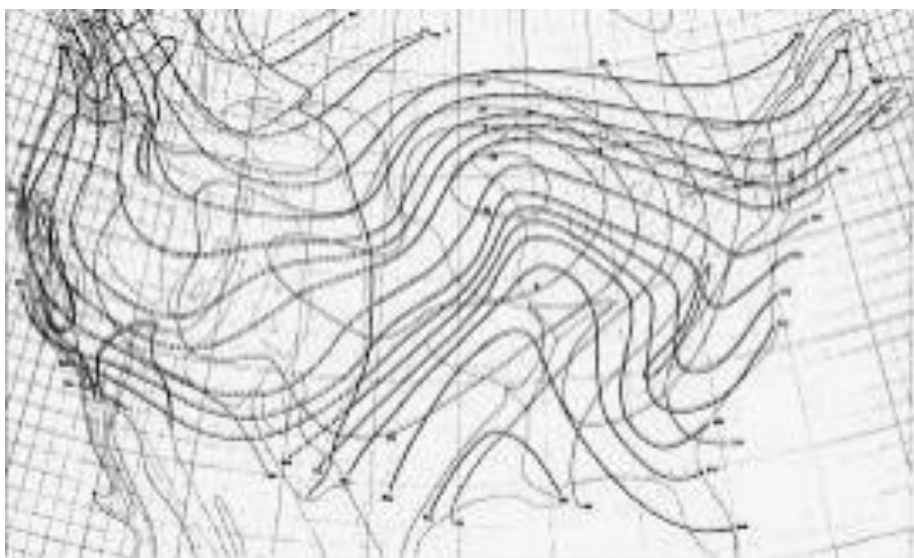
1. กล่าวนำ

นักพยากรณ์อากาศมีความสนใจอย่างยาวนานในการที่จะอธิบายสถานะของบรรยากาศ (สภาพอากาศ) ด้วยการวิเคราะห์สนามการเคลื่อนที่ (fields of motion) และองค์ประกอบต่าง ๆ (composition) ของบรรยากาศ เมื่อเทียบความสำคัญของสิ่งเหล่านี้ที่เกี่ยวข้องกับการพยากรณ์อากาศจะขึ้นอยู่กับสภาพปัญหา ตัวอย่างเช่น การบินเดินทางระยะไกลโดยทั่วไปสนามการเคลื่อนที่ถือว่ามีความสำคัญที่สุด อย่างไรก็ตาม การดำเนินการวิธีในการพยากรณ์อากาศต้องอาศัยการวิเคราะห์องค์ประกอบต่าง ๆ ด้วยความระมัดระวังเป็นอย่างมาก นักอุตุนิยมวิทยาส่วนใหญ่ค้นหาสนามการเคลื่อนที่ด้วยการวิเคราะห์โดยทางอ้อม (indirectly analyzing) เช่น การวิเคราะห์สนามความกดอากาศ (Pressure field) หรือความสูงของระนาบพื้นผิวความกดอากาศ (height of pressure surfaces) ข้อมูลสมมติได้ว่าเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์อย่างมาก โดยเฉพาะหากสมมติฐานของสมมติฐานไอโซทรอปิกมีความถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริง กฎของบอยล์ (Buys Ballot's law) กล่าวถึงความสัมพันธ์ของทิศทางลมกับความชันของความกดอากาศ ในขณะที่สมการการเคลื่อนที่ (Equations of motion) สัมพันธ์กันความเร็วและความชันของความกดอากาศ ในกรณีการวิเคราะห์โดยทางอ้อมรูปแบบเส้นไอโซบาร์หรือเส้นชั้นความสูงเท่า (contour) มีความใกล้เคียงกับลมที่เกิดขึ้นจริงหากเป็นไปตามเงื่อนไขของสมมติฐานไอโซทรอปิก ซึ่งตามเงื่อนไขของสมมติฐานไอโซทรอปิกตั้งสมมติฐานอัตราเร่ง (accelerations) ในสนามการเคลื่อนที่ค่อนข้างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับแรงคอริโอลิสกับแรงความชันของความกดอากาศซึ่งเป็นแรงที่ทำให้เกิดความสมดุล แต่เนื่องจากแรงคอริโอลิสแปรเปลี่ยนไปตามละติจูด ดังนั้นสมมติฐานดังกล่าวมีความถูกต้องน้อยกว่าในแถบละติจูดต่ำ ๆ เมื่อเทียบกับแถบละติจูดที่สูงกว่า ด้วยเหตุที่ว่าในแถบละติจูดต่ำแรงความชันของความกดอากาศมีค่าน้อยและแรงคอริโอลิสไม่มีนัยสำคัญ ส่งผลทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่ของบรรยากาศกับรูปแบบของความกดอากาศมีความซับซ้อนและแปรปรวนเพิ่มขึ้น จากข้อเท็จจริงการเพิ่มขึ้นของเครือข่ายและความถูกต้องของการตรวจอากาศชั้นบนที่ปรากฏมีจำนวนเท่ากับในแถบละติจูดกลางผนวกกับการวิเคราะห์โดยทางอ้อมที่มีอยู่เดิมผลักดันให้นักอุตุนิยมวิทยาทำการวิเคราะห์สนามการเคลื่อนที่แบบทางตรง (Direct analysis) ซึ่งไม่เพียงแต่เป็นการวิเคราะห์ในแถบละติจูดต่ำเท่านั้นยังสามารถใช้ได้กับการวิเคราะห์ในแถบละติจูดกลางอีกด้วย การวิเคราะห์แบบทางตรงไม่ใช่เป็นการนำเสนอนวัตกรรมใหม่ แท้จริงแล้วเป็นการนำเสนอผลการวิเคราะห์เส้นลายกระแสเหล่านั้นโดยใช้หลักการและกระบวนการอันมีเค้าโครงจุดเริ่มต้นโดย Sandstrom ในปี 1909 และนำมาพัฒนาโดย Bjerkness ในปี 1911



รูปที่ 1-1 เครื่องมือและเส้นลายกระแสของ Sandstrom

ปัจจุบันการตรวจอากาศให้องค์ประกอบของการเคลื่อนที่ที่ขนานไปกับผิวพื้นโลกเท่านั้น เราไม่สามารถตรวจองค์ประกอบแนวตั้งได้โดยตรง ดังนั้น การวิเคราะห์โดยตรงของสนามลม (wind field) จึงนำมาประยุกต์ใช้กับสนามลมสองมิติ เนื่องจากลมมีทั้งทิศทางและความเร็วจึงต้องสร้างเส้น 2 ประเภทนี้เพื่ออธิบายสนามลม โดยตรรกะเส้นประเภทที่หนึ่งเป็นตัวแทนทิศทาง ส่วนที่เหลือเป็นตัวแทนของความเร็ว เส้นต่าง ๆ ที่แทนทิศทางการเคลื่อนที่ ณ พื้นที่ใด ๆ เรียกว่า เส้นลายกระแส (Streamlines) ส่วนเส้นที่แสดงความเร็วเท่า ๆ เรียกว่า เส้นความเร็วลมเท่า (Isotachs) หากทำการวิเคราะห์ครอบคลุมเส้นแสดงความเร็วเท่า (isopleth) ทั้งสองประเภทนี้ได้ก็จัดเป็นการวิเคราะห์สนามการเคลื่อนที่ที่สมบูรณ์แบบ

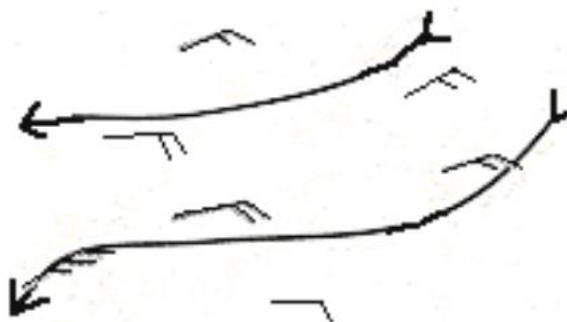


รูปที่ 1-2 Cyclone Model โดย Vilhelm Bjerknes

2. รูปแบบและความหมายของเส้นลายกระแส

ในการวิเคราะห์เส้นลายกระแสมีรูปแบบที่หลากหลายและแต่ละรูปแบบมีความหมายเฉพาะ ดังนั้น ผู้วิเคราะห์จึงจำเป็นต้องทราบและทำความเข้าใจก่อนที่จะวิเคราะห์เส้นลายกระแสจริง สำหรับรูปแบบและความหมายมีดังนี้

2.1 เส้นลายกระแส (Stream lines) คือ กลุ่มเส้นที่ลากโค้งสัมผัส (tangent) ไปตามเวกเตอร์ความเร็ว (velocity) ในสนามการเคลื่อนที่ โดยแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ไปของของไหล ณ จุดใด ๆ ในเวลาหนึ่ง หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นเส้นที่แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ต่อเนื่องโดยไม่มีจุดสิ้นสุดและอาจจะลากไปบรรจบหรือแยกจากเส้นหนึ่งไปยังอีกเส้นหนึ่งได้ (ตามกฎการวิเคราะห์เส้นลายกระแส) เส้นลายกระแสเหล่านี้จะถูกลากให้มีระยะห่างใกล้เคียงกันโดยประมาณเพื่อแสดงให้เห็นการเคลื่อนที่ครอบคลุมในทุกพื้นที่ ด้วยเหตุนี้ระยะห่างระหว่างเส้นลายกระแสจึงไม่ได้แสดงถึงความชัน (gradient) หรือสัดส่วนของความเร็วลม (proportional to wind speed)

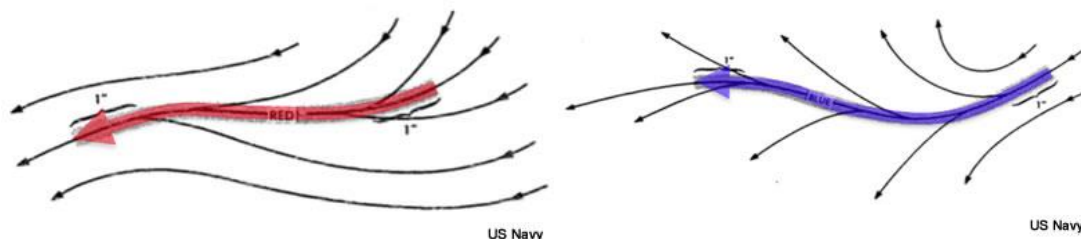


รูปที่ 1-3 เส้นลายกระแส (Streamlines)

2.2 แกนของเส้นลายกระแส (Asymptotes) เป็นลักษณะเฉพาะของเส้นลายกระแสที่มีเส้นลายกระแสอื่น ๆ ไหลเข้ามารวม หรือไหลแยกออกไปอย่างช้า ๆ (ทำมุมเล็กน้อย) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด

2.2.1 แกนของแนวลมพัดเข้าหากัน (Confluence Asymptote หรือ Negative asymptote) เป็นเส้นลายกระแสที่มีเส้นลายกระแสอื่น ๆ ไหลเข้ามารวมกัน แกนของแนวลมพัดเข้าหากันอาจหมายถึงหรือไม่ได้หมายถึงคอนเวอร์เจนซ์ของมวลในแนวระนาบ ซึ่งจำเป็นต้องวิเคราะห์ร่วมกับการกระจายของความเร็วลม จึงจะทำให้ทราบถึงไดเวอร์เจนซ์สุทธิ (net divergence) ตัวอย่างเช่น หากวิเคราะห์เส้นลายกระแสมีลักษณะเป็นแกนของแนวลมพัดเข้าหากันและวิเคราะห์ความเร็วลมควบคู่กัน หากความเร็วลมมีลักษณะเป็นคอนเวอร์เจนซ์ (speed convergence) เราจะได้ไดเวอร์เจนซ์สุทธิเป็นลบ หรือ negative divergence นั่นก็คือ convergence ในทำนองเดียวกันหากวิเคราะห์ความเร็วลมมีลักษณะเป็นไดเวอร์เจนซ์ (speed divergence) หรือในลักษณะอื่น ๆ เราจะไม่สามารถสรุปไดเวอร์เจนซ์สุทธิได้

2.2.2 แกนของแนวลมพัดแยกออก (Difluence Asymptote หรือ Positive asymptote) เป็นลายกระแสมที่มีเส้นลายกระแสมอื่น ๆ ไหลแยกออกไป แกนของแนวลมพัดแยกออกอาจหมายถึงหรือไม่ได้หมายถึงไดเวอร์เจนซ์ของมวลในแนวระนาบ ซึ่งจำเป็นต้องวิเคราะห์ร่วมกับการกระจายของความเร็วมวล เช่นเดียวกับกรณีของแกนของแนวลมพัดเข้าหากัน



รูปที่ 1-4 ก แกนของแนวลมพัดเข้าหากัน รูปที่ 1-4 ข แกนของแนวลมพัดแยกออก
หมายเหตุ ในทางปฏิบัติ USAF/US Navy จะใช้สัญลักษณ์ลูกศรสีแดงและสีน้ำเงินตามรูปที่ 1-4 ก และ 1-4 ข ตามลำดับแทนการวิเคราะห์แกนของลมๆ ซึ่งจะลากเป็นแนวไปตามแกนโดยจะลากจุดเริ่มและสิ้นสุดแกนเป็นระยะทางประมาณ 1 นิ้ว แต่ในส่วนของ กขอ.คปอ. ไม่ได้กำหนดเป็นแนวทางการปฏิบัติ

โดยทั่วไปเราให้ความสนใจแกนของแนวลมพัดเข้าหากัน (negative asymptotes) ที่วางแนวอยู่ระหว่างการพัดเข้ากันของลมมากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากในระดับต่ำแกนของแนวลมพัดเข้าหากันส่วนใหญ่มักเกี่ยวข้องกับการเกิดสภาพอากาศเลว สำหรับแกนแนวลมพัดเข้าหากันที่สำคัญที่พบได้บ่อยในบริเวณการพัฒนาบรรจบกันโดยรอบบริเวณการก่อตัวของไซโคลน หรือการพัดสอบเข้าหากันของลมค้าทั้งสองซีกโลกซึ่งเป็นบริเวณกว้าง ๆ เป็นต้น

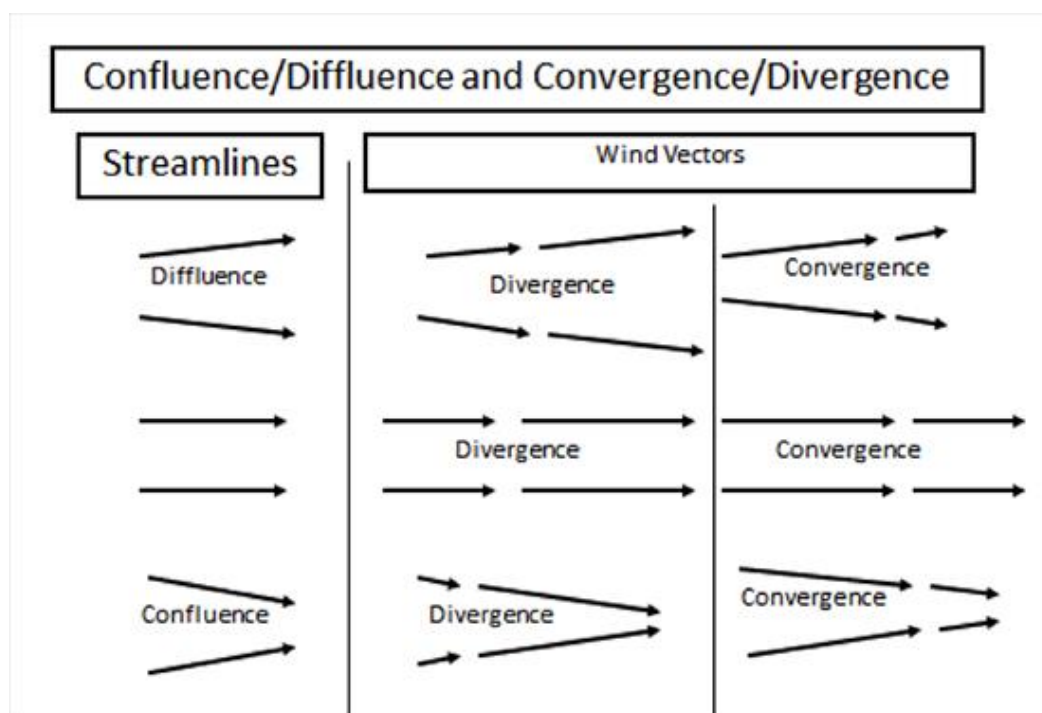
2.3 การพัดเข้าหากันของเส้นลายกระแสม (Confluence) เป็นการเคลื่อนเข้าหากันของเส้นลายกระแสม ซึ่งไม่จำเป็นต้องหมายถึงคอนเวอร์เจนซ์ (ต้องพิจารณาร่วมกับความเร็วมวล)

2.4 การพัดออกจากกันของเส้นลายกระแสม (Difluence) เป็นการเคลื่อนออกจากกันของเส้นลายกระแสม ซึ่งไม่จำเป็นต้องหมายถึงไดเวอร์เจนซ์ (ต้องพิจารณาร่วมกับความเร็วมวล)

2.5 คอนเวอร์เจนซ์ (Convergence) การเคลื่อนที่เข้าสู่ ณ จุดใดจุดหนึ่งของอากาศในบรรยากาศ ส่งผลทำให้มีการสะสมมวลของอากาศเพิ่มขึ้นในบริเวณนั้น เพื่อเป็นการชดเชยส่วนที่เกิน (ตามกฎการอนุรักษ์มวล) เป็นผลทำให้เกิดการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (vertical motion) โดยที่เคลื่อนที่ขึ้น (upward motion) ในแนวตั้งหากเกิดคอนเวอร์เจนซ์ในระดับต่ำหรือการเคลื่อนลง (downward motion or subsidence) ในแนวตั้งหากเกิดคอนเวอร์เจนซ์ในระดับบน ซึ่งการเคลื่อนที่ขึ้นในแนวตั้งจากคอนเวอร์เจนซ์ระดับต่ำจะเพิ่มศักยภาพในการก่อตัวของพายุฟ้าคะนอง (หากมีปัจจัยที่เหมาะสม เช่น ความชื้น แสงยกและอากาศเสถียรทรงตัว)

2.6 ไดเวอร์เจนซ์ (Divergence) การเคลื่อนที่ออกจากจุดใดจุดหนึ่งของอากาศในบรรยากาศ ส่งผลทำให้การสะสมมวลของอากาศลดลงในบริเวณนั้น มีลักษณะตรงข้ามกับคอนเวอร์เจนซ์ หากมีไดเวอร์เจนซ์ใน

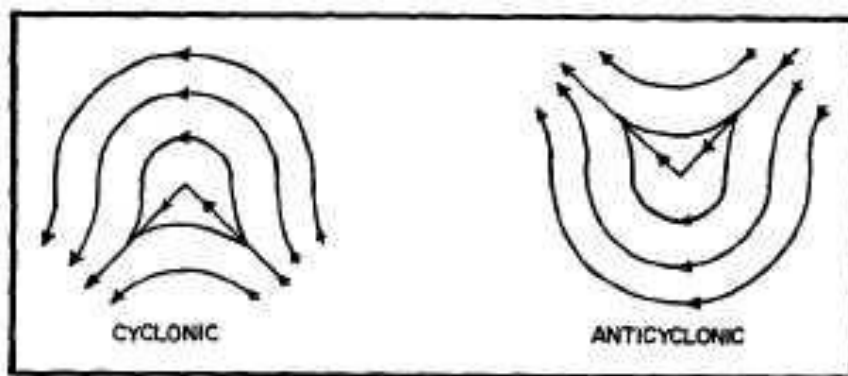
บรรยากาศระดับบนจะส่งผลทำให้การยกตัวในแนวตั้งเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงมีโอกาสเกิดพายุฟ้าคะนองได้ (หากมีปัจจัยที่เหมาะสม)



รูปที่ 1-5 Confluence Diffluence Convergence และ Divergence

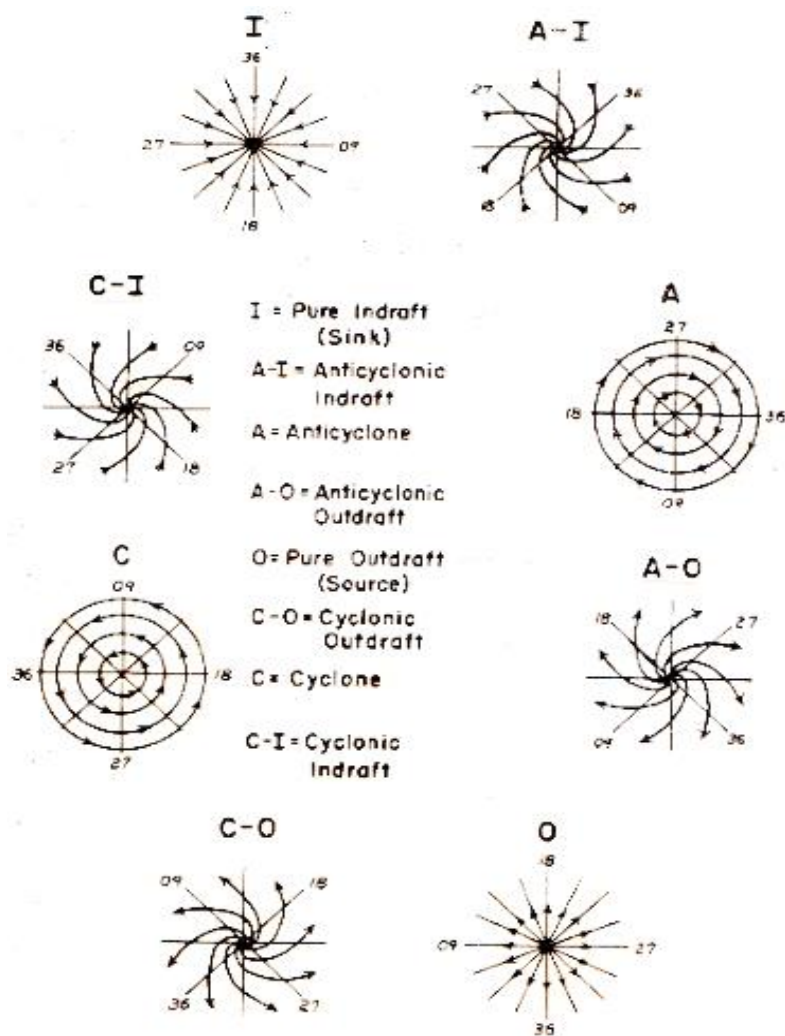
2.7 Singular point หรือ Singularity คือจุดที่ทิศทางการไหลไม่สามารถกำหนดให้เป็นไปในทางทิศทางเดียวได้ (unique) หรือเป็นบริเวณที่สามารถลากเส้นลายกระแสได้มากกว่าหนึ่งเส้นและอาจหมายถึงเส้นลายกระแสที่มีลักษณะโค้งเป็นวงปิด (closed curve) ณ จุดนี้จะมีความเร็วลมเป็นศูนย์และบริเวณใกล้เคียงความเร็วลมจะมีกำลังอ่อนเสมอ Singular point แบ่งออกได้ 3 รูปแบบคือ

2.7.1 คัสป์ (Cusp) คือรูปแบบของเส้นลายกระแสที่อยู่ระหว่างการเปลี่ยนผ่านจากคลื่นและระบบการหมุนเวียนที่มีศูนย์กลาง (circulation center) โดยทั่วไปเกิดขึ้นในระยะเวลาด้าน ๆ ในสเกล Synoptic พบได้ไม่บ่อยนักในการวิเคราะห์แผนที่อากาศและจะไม่นิยมวิเคราะห์แบบต่อเนื่อง ยกเว้นเมื่อข้อมูลที่เขียนลงบนแผนที่นั้นปรากฏอย่างชัดเจน



รูปที่ 1-6 คัสป์ (Cusp)

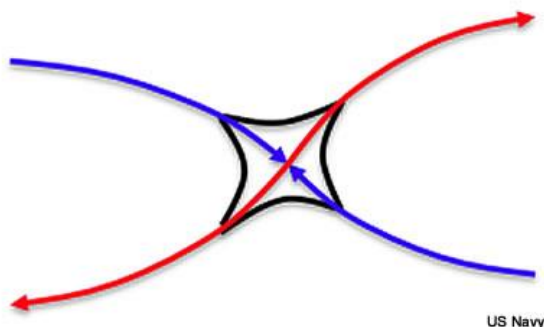
2.7.2 ศูนย์กลางการหมุนเวียน (Vortices) คือ เส้นสายกระแสที่มีการหมุนเวียนในรูปแบบไซโคลนหรือแอนตี้ไซโคลน รวมทั้งลักษณะการหมุนเวียนออก (outdrafts) และการหมุนเวียนเข้า (indrafts) พบโดยทั่วไปมีทั้งหมด 6 รูปแบบ ดังรูปที่ 1-7



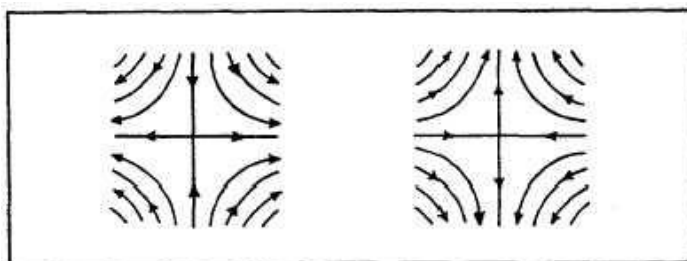
รูปที่ 1-7 แบบจำลองเส้นสายกระแสของ Highs และ Lows

สำหรับแอนตี้ไซโคลนแบบหมุนออกและไซโคลนแบบหมุนเข้าพบได้บ่อยในบรรยากาศระดับต่ำ อย่างไรก็ตามข้อมูลในบรรยากาศระดับบนมีค่อนข้างน้อยมากไม่เพียงพอที่จะพิจารณาคุณลักษณะของศูนย์กลางการหมุนเวียนว่าเป็นแบบหมุนเข้าหรือหมุนออก ดังนั้น ศูนย์กลางการหมุนเวียนในบรรยากาศระดับบนในบริเวณดังกล่าวมักจะวิเคราะห์เป็นไซโคลนหรือแอนตี้ไซโคลนสมบูรณ์ (pure cyclones or anticyclones) ภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาเผยให้เห็นศูนย์กลางการหมุนเวียนถึงแม้ว่าจะเป็นศูนย์กลางการหมุนกำลังอ่อนและมีขนาดเล็กกว่า แต่ยังคงมีความต้องการข้อมูลลมเพื่อที่จะนำมาพิจารณาระดับความรุนแรงสูงสุดของระบบหมุนเวียนนั้น (ปัจจุบันขีดความสามารถของการตรวจอากาศชั้นบนสูงกว่าในอดีตจึงมีข้อมูลอากาศชั้นบนมากขึ้น สามารถวิเคราะห์ระบบหมุนเวียนได้ชัดเจนยิ่งขึ้น)

2.7.3 จุดเป็นกลาง (Neutral point) คือ บริเวณจุดตัดระหว่างแกนของแนวลมพัดเข้าหากัน (Confluent Asymptote) และแนวลมพัดแยกออก (Difluence Asymptote) คล้ายกับ Col ที่ปรากฏในการวิเคราะห์สนามความกด (Pressure field) ในแผนที่อากาศผิวพื้น จุดเป็นกลางนี้มีลักษณะคล้ายกับอานม้าที่อยู่ระหว่างสองพื้นที่ของการไหลของอากาศแบบแอนตี้ไซโคลน (anticyclonic flow) และการไหลของอากาศแบบไซโคลน (cyclonic flow) ในบางกรณีจุดเป็นกลางพบในบริเวณที่มีการเปลี่ยนรูปของการไหลแบบสมบูรณ์ (pure deformation flow) ดังรูปที่ 1-8 ก แสดงการไหลเข้าของลมในทิศตะวันออกเฉียงใต้และทิศตะวันตกเฉียงเหนือเปลี่ยนรูปเป็นการไหลออกทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือและทิศตะวันตกเฉียงใต้

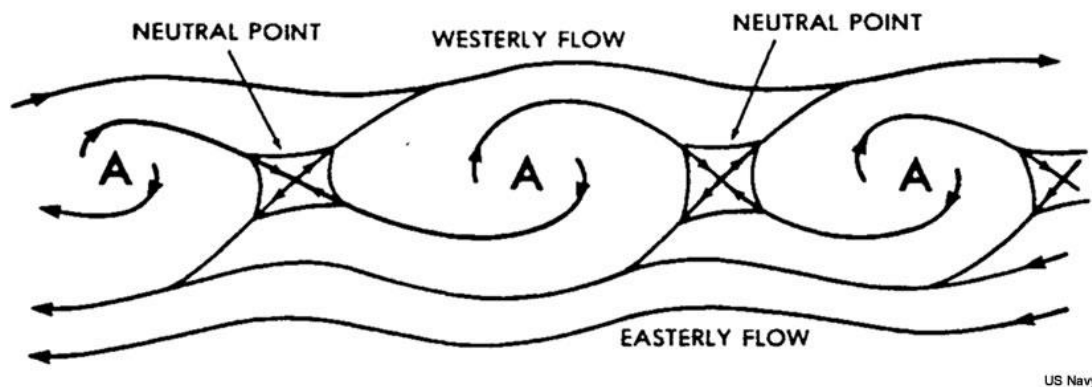


รูปที่ 1-8 ก จุดเป็นกลาง (Neutral point)



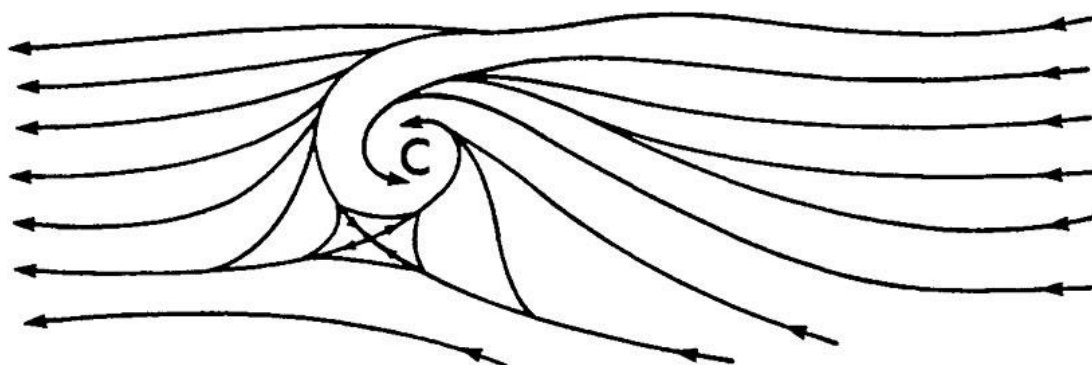
รูปที่ 1-8 ข การไหลอากาศบริเวณจุดเป็นกลาง

นอกจากนี้จุดเป็นกลางยังเป็นพื้นที่เปลี่ยนผ่าน (transition) ระหว่าง singular point สองตัวที่เป็นชนิดเดียวกัน เช่นอยู่ระหว่างศูนย์กลางที่มีการหมุนแบบแอนตี้ไซโคลน (ไซโคลน) สองตัว หรือเป็นบริเวณที่แบ่งแยกระบบการไหลของอากาศที่อยู่ใกล้เคียงกันจากระบบหนึ่งไปสู่อีกระบบหนึ่งที่มีทิศทางตรงกันข้าม ตัวอย่างเช่น รอยต่อระหว่างลมฝ่ายตะวันตกที่พัดปกคลุมพื้นที่บริเวณกว้างในเขตละติจูดกลางกับลมค้าฝ่ายตะวันออกที่พัดปกคลุมเขตร้อนเป็นบริเวณกว้าง (รูปที่ 1-8 ค)



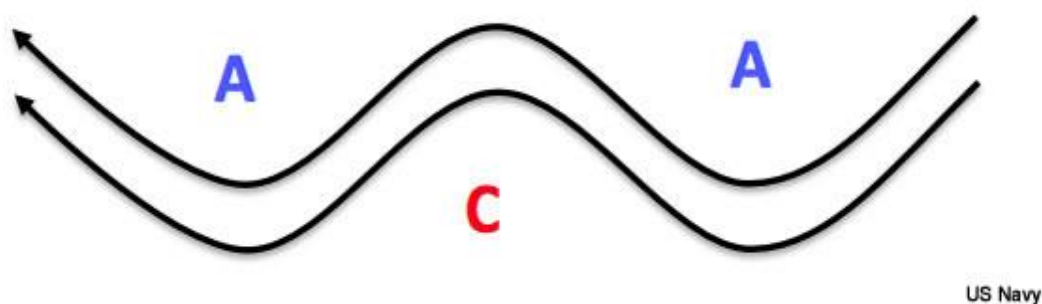
รูปที่ 1-8 ค จุดเป็นกลางระหว่าง singular point ของ anticyclone

อีกรูปแบบหนึ่งของจุดเป็นกลางที่พบได้โดยทั่วไป (ต้องตรวจพบหรือมีรูปแบบที่ใกล้เคียง) คือจุดเป็นกลางที่แบ่งแยกการเคลื่อนที่ของอากาศที่พัดเป็นพื้นหลัง (background flow) หรือลมส่วนใหญ่ ออกจากการเคลื่อนที่ของอากาศที่มีทิศทางตรงข้ามภายในการหมุนเวียนแบบแอนตี้ไซโคลนหรือไซโคลน ตัวอย่างเช่น ไซโคลนฝั่งตะวันออกในลมฝ่ายตะวันออกในเขตร้อน ซึ่งจุดเป็นกลางต้องแบ่งแยกลมฝ่ายตะวันออกจากลมฝ่ายตะวันตก ณ บริเวณใดบริเวณหนึ่งใกล้เคียงกับศูนย์กลางของการหมุนเวียน (circulation) นั้น ทั้งนี้เพราะการหมุนเวียนของไซโคลน ลมฝ่ายตะวันออกต้องเปลี่ยนเป็นลมตะวันตกพัดเข้าสู่ศูนย์กลางของไซโคลน ดังนั้นจำเป็นต้องมีจุดเป็นกลางเป็นตัวแบ่งลมสองฝ่ายนี้ แสดงดังรูปที่ 1-8 ง ทำนองเดียวกันกับ Cut off low ที่มักพบในบรรยากาศระดับบน ซึ่งเป็นไซโคลนฝั่งตะวันออกในลมฝ่ายตะวันตก

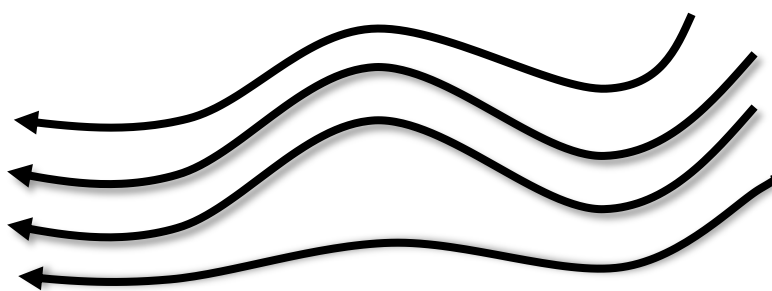


รูปที่ 1-8 ง เส้นลายกระแสในบริเวณไซโคลนที่ฝั่งตะวันออกในลมฝ่ายตะวันออก

2.8 คลื่น (wave) ในบางครั้งนอกเหนือจากเส้นลายกระแสที่เป็นเส้นตรงแล้วอาจจะพบเส้นลายกระแสที่มีรูปแบบคล้ายคลื่นอันเนื่องมาจากการถูกรบกวน ซึ่งแสดงการกวัดแกว่งที่สอดคล้องกับการเคลื่อนที่สลับไปมาระหว่างการเคลื่อนที่แบบไซโคลนหรือแอนตี้ไซโคลนคล้ายกับการจัดเรียงกันของร่องความกดอากาศต่ำและลิ้มความกดอากาศสูงในเส้นความกดอากาศเท่า (รูปที่ 1-9 ก) คลื่นที่ไม่สามารถแผ่ขยายตัวให้พ้นจากความกว้างของเส้นลายกระแสที่เป็นคลื่น ซึ่งเป็นคลื่นที่ซ้อน (embedded) อยู่ในคลื่น เรียกว่า คลื่นแฝง (damped waves) ในกรณีนี้เส้นลายกระแสด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้านของการเคลื่อนที่จะมีความสูงของคลื่น (amplitude) น้อยกว่าคลื่นแฝงอย่างชัดเจน (รูปที่ 1-9 ข)

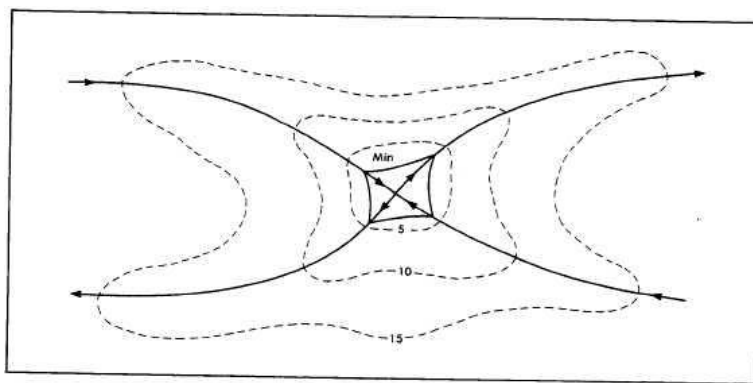


รูปที่ 1-9 ก เส้นลายกระแสที่มีลักษณะเป็นคลื่น



รูปที่ 1-9 ข คลื่นแฝง (damped wave)

2.9 เส้นความเร็วลมเท่า (Isotach) คือ เส้นที่ลากเชื่อมต่อกันจุดที่มีความเร็วลมเท่ากันบนระนาบพื้นผิวที่กำหนด ถึงแม้ว่าเส้นความเร็วลมเท่าจะไม่ได้เป็นรูปแบบของเส้นลายกระแสโดยตรง แต่มักจะปรากฏควบคู่กับเส้นลายกระแสเสมอทั้งนี้เพื่อใช้ประมาณค่าสุทธิของไดเวอร์เจนซ์



รูปที่ 1-10 เส้นความเร็วลมเท่า (Isotach)

3. ประโยชน์ของการวิเคราะห์เส้นลายกระแส (Uses of streamline analysis)

ถึงแม้ว่าจะมีแนวคิดว่าการวิเคราะห์เส้นลายกระแสเหมาะสมเฉพาะในละติจูดต่ำ (พื้นที่เขตร้อน) แต่ก็มี ความสำคัญอย่างมากต่อพื้นที่ในเขตละติจูดกลางและละติจูดสูงเช่นเดียวกัน การวิเคราะห์เส้นลายกระแสนอกจาก จะเป็นการระบุถึงระบบต่าง ๆ ในเขตร้อนและการพยายามระบุพื้นที่ของการเคลื่อนที่ของอากาศเข้าหากัน (confluence) / คอนเวอร์เจนซ์ระดับต่ำในเขตร้อนแล้วยังได้รับประโยชน์บางอย่างที่เราได้จากการวิเคราะห์เส้นลาย กระแส ดังนี้

1. กำหนดขอบเขตของตัวการลงใน Surface weather chart หรือ Local Area Work Chart
2. กำหนดตัวการที่ควบคุม (steering) หรือการเคลื่อนที่แบบการพาในแนวนอน (advection flow)
3. การระบุตำแหน่งของพื้นที่ของการเคลื่อนที่แบบไซโคลนและแอนตี้ไซโคลน
4. การพิจารณารูปแบบตัวการที่ปรากฏที่ผิวพื้นซ้อนขึ้นไปกับระดับที่เกี่ยวข้อง
5. การระบุพื้นที่ของการเคลื่อนที่เข้ากัน/แยกออกจากกันของอากาศในแนวระนาบ
6. รูปแบบความสัมพันธ์ใน mesoscale กับ synoptic scale
7. ประเมินรูปแบบของลมและกระแสลมกรรร่วมกับการวิเคราะห์เส้นความเร็วลมเท่า
8. แสดงความแรง (strength) ของระบบโดยการประมาณค่าคอนเวอร์เจนซ์หรือไดเวอร์เจนซ์ เช่น พายุที่รุนแรงกว่ามีแนวโน้มที่ไดเวอร์เจนซ์ระดับบนจะแรงกว่าคอนเวอร์เจนซ์ที่อยู่ในระดับต่ำกว่า
9. แสดงพื้นที่ที่คาดว่าจะทวีกำลังแรงขึ้นหรืออ่อนกำลังลง เช่น กรณีที่อนุมานว่าบริเวณของเส้น ความเร็วลมเท่าสูงสุด (isotach maximum wind) เคลื่อนที่ไปในบริเวณพื้นที่ของไซโคลนในระดับต่ำ ย่อมจะ ทำให้หย่อมความกดอากาศต่ำที่ผิวพื้นนั้นทวีกำลังแรงขึ้น ทั้งนี้เพราะไดเวอร์เจนซ์ระดับบนมีกำลังแรงขึ้น ในทาง ตรงข้ามหย่อมความกดอากาศต่ำที่ผิวพื้นนั้นจะตื้นขึ้น (filling : การลดลงของความกดอากาศบริเวณศูนย์กลาง ของหย่อมความกดอากาศต่ำเพิ่มขึ้นจากเดิม) หรืออ่อนกำลังลงหากบริเวณของเส้นความเร็วลมเท่าต่ำสุดเคลื่อนใกล้ เข้ามา
10. เพื่อใช้เป็นเครื่องช่วยในการบรรยายสรุปภาพการไหลเวียนของอากาศตามเส้นทางบินที่ กำหนดและพื้นที่มีโอกาสเกิดกระแสอากาศปั่นป่วนอันเนื่องมาจากลมเฉียร์

บทที่ 2

การวิเคราะห์เส้นลายกระแสและเส้นความเร็วลมเท่า

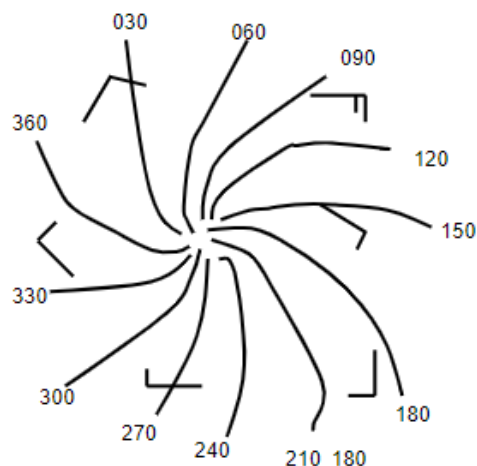
(Method of Streamline and Isotach Analysis)

1. กล่าวนำ

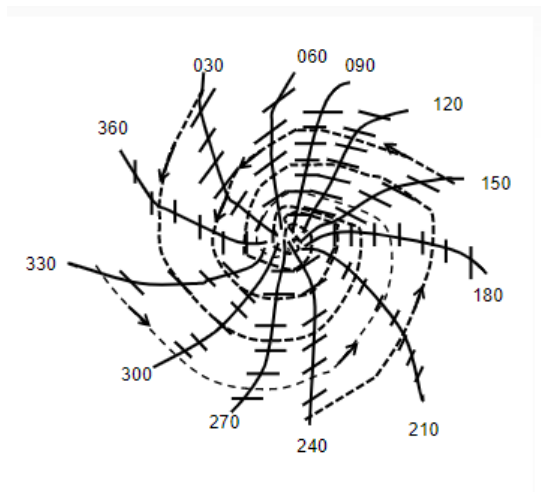
การวิเคราะห์เส้นลายกระแสมีด้วยกัน 2 วิธี กล่าวคือ การวิเคราะห์แบบ Free hand (หรือการวิเคราะห์แบบทางตรง (direct)) และการวิเคราะห์เส้นทิศทางลมเท่า (Isogon) ตามปกติเส้นลายกระแสจะโค้งสัมผัสไป(tangent) กับทิศทางลมที่ตรวจได้และแทรกอยู่ (interpolating) ระหว่างสถานีตรวจอากาศ การวิเคราะห์ทั้ง 2 วิธีมีความแตกต่างกันพอสมควร โดยที่การวิเคราะห์แบบทางตรงใช้เวลาในการวิเคราะห์น้อยกว่ามาก ในขณะที่การวิเคราะห์เส้นทิศทางลมเท่ามีขั้นตอนและรายละเอียดของการวิเคราะห์มากกว่าจึงใช้เวลาในการวิเคราะห์มากกว่าวิธีแรก การวิเคราะห์ด้วยวิธีการอันหลังได้รับประโยชน์จากเส้นเหล่านั้น ซึ่งใช้เป็นเส้นอ้างอิงและสร้างเส้นระหว่างเส้นอ้างอิงขึ้นมามากทอดหนึ่ง ถึงแม้ว่าการวิเคราะห์แบบทางตรงสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว แต่วิธีหลังมีความถูกต้องแม่นยำกว่าโดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่มีข้อมูลน้อย นอกจากนี้ยังเป็นวิธีการเหมาะสมอย่างมากสำหรับผู้วิเคราะห์ที่ขาดประสบการณ์ ซึ่งหากมีความเข้าใจในขั้นตอนต่าง ๆ เหล่านี้จะช่วยทำให้การวิเคราะห์แบบทางตรงมีความถูกต้องเพิ่มมากขึ้นเมื่อผู้วิเคราะห์มีประสบการณ์และความชำนาญขึ้น

2. การวิเคราะห์เส้นลายกระแสด้วยวิธีการวิเคราะห์ทิศทางลมเท่า (Isogon Method of streamline analysis)

การวิเคราะห์ทิศทางลมเท่าหรือไอโซคอนนั้นประกอบด้วยเส้น 2 ชนิด คือเส้นที่ลากเชื่อมต่อทิศทางลมเท่า (equal wind directions) หรือเรียกว่าเส้นไอโซคอน และเส้นประกอบย่อย (line element) ซึ่งเป็นเส้นสั้น ๆ ที่แสดงค่ามุมของเส้นทิศทางลมเท่าเหล่านั้น



รูปที่ 2-1 ก เส้นทิศทางลมเท่า(Isogon)และทิศทางลม(ศรลม)



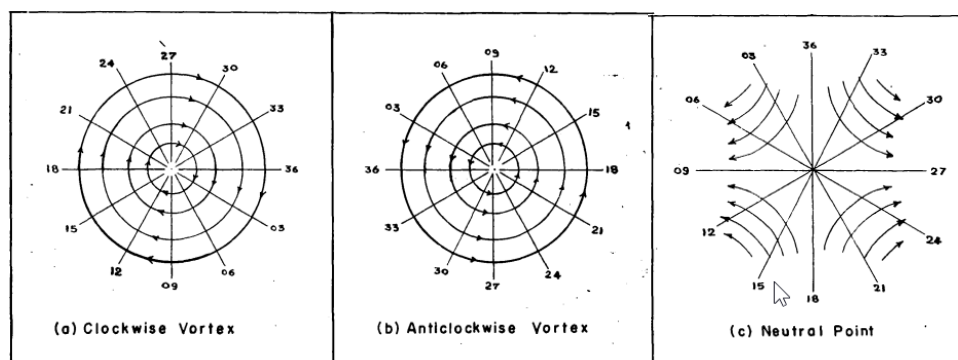
รูปที่ 2-1 ข เส้นประกอบย่อย(เส้นสั้นดำทึบ)และแนวเส้นลายกระแส (เส้นประ)

ขั้นตอนในการวิเคราะห์เส้นทิศทางลมเท่า กล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

1. ค้นหาจุด singular points เป็นอันดับแรก
2. จำแนกทิศทางบริเวณจุด singular points ออกเป็นสี่ทิศทางหลัก (ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก) โดยพิจารณาจากข้อมูลรอบ ๆ บริเวณจุด singular points นั้น
3. ลากเส้นทิศทางลมเท่า 360 องศา ไปเชื่อมต่อกับเส้นทิศทางลมเท่า 180 องศา
4. ในทำนองเดียวให้ลากเส้นทิศทางลมเท่า 090 องศา ไปเชื่อมต่อกับเส้นทิศทางลมเท่า 270 องศา (จุดที่บริเวณที่เส้นไอโซคอนทั้งหลายมาบรรจบกัน เรียกว่า singular point หรือ critical point หรือ nodal point (โดย V Bjerknes) ส่วน C. E. Palmer เรียกว่า positive points สำหรับความกดอากาศสูงและ negative point สำหรับความกดอากาศต่ำและ neutral point สำหรับ col)
5. ต่อจากนั้นให้จำแนกเส้นทิศทางลมเท่าออกคราวละ 30 องศา กล่าวคือลากเส้นทิศทางลมเท่า 030 กับ 210, 060 กับ 240, 120 กับ 300, และ 150 กับ 330 พร้อมกับลากเส้นเชื่อมต่อซึ่งกันและกัน อย่างไรก็ตามอาจจำแนกเส้นทิศทางลมเท่าออกได้ตามความสะดวกและเหมาะสม
6. เขียนเส้นประกอบย่อยซึ่งเป็นเส้นสั้น ๆ โดยวางทำมุมเท่ากับค่าของเส้นทิศทางลมเท่า พิจารณาตามทิศของเข็มทิศเป็นหลัก โดยเว้นระยะเท่า ๆ กันตลอดแนวเส้นทิศทางลมเท่าที่นั้นจนครบทุกเส้น
ข้อสังเกต เส้นทิศทางลมเท่า (isogon) 360 อาจจะได้วางแนวตามทิศทางของเข็มทิศ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อมูลผลการตรวจของแต่ละสถานี แต่เส้นประกอบย่อยต้องยึดตามทิศทางของเข็มทิศ ดังนั้น บนเส้นทิศทางลมเท่าเส้นประกอบย่อยจะเป็นเส้นสั้น ๆ ที่วางในแนวเหนือ-ใต้ เช่นเดียวกับเส้นทิศทางลมเท่า 180 ดังแสดงในรูปที่ 2-1 ข ส่วนเส้นทิศทางลมเท่าอื่น ๆ ก็ลากในลักษณะเดียวกัน
7. ลากเส้นลายกระแสโดยพยายามลากให้ขนานไปกับเส้นประกอบย่อยหรือข้อมูลลมชั้นบน สำหรับระยะห่างเป็นไปตามความเหมาะสมและสวยงามและแสดงให้เห็นถึงรูปแบบของสนามลมที่วิเคราะห์ได้

ข้อพึงระลึกที่สำคัญเกี่ยวกับการลากเส้นไอโซคอน

1. อย่าลากเส้นไอโซคอนไปตัดกัน
2. จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดอยู่ที่จุด singular point
3. อาจเป็นเส้นโค้งที่เป็นวงปิดได้
4. ค่าเส้นไอโซคอนเวียนตามเข็มนาฬิกาอาจเป็นการหมุนเวียนของความกดอากาศสูงและความกดอากาศต่ำ (พิจารณาทิศทางการเข้าหาศูนย์กลาง) แต่หากทวนเข็มนาฬิกาจะเป็นบริเวณ col
5. เส้นไอโซคอนที่อยู่ใกล้ชิดกันหลายเส้นเป็นบริเวณแนวปะทะอากาศและแนวลมสอบ (line of convergence)



รูปที่ 2-2 เส้นทิศทางลมเท่า (Isogons) บริเวณ Singular point

ตัวอย่างที่ 1 การวิเคราะห์เส้นลายกระแสด้วยวิธีการวิเคราะห์เส้นทิศทางลมเท่า (isogon) จากผลการตรวจอากาศชั้นบนในแผนที่อากาศชั้นบนที่ระดับ 850 hPa



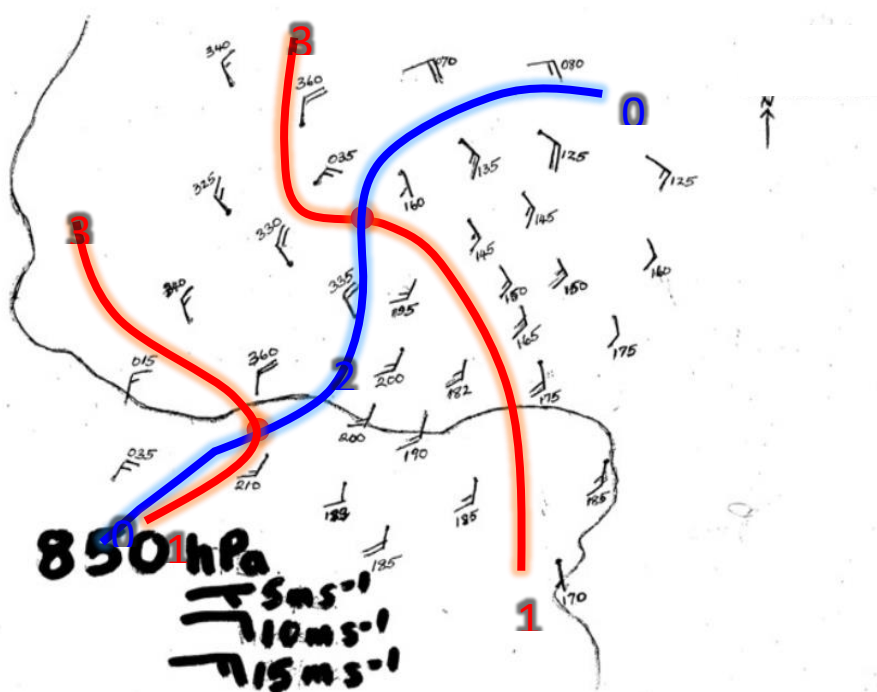
รูปที่ 2-3 ก ข้อมูลแผนที่อากาศชั้นบนที่ระดับ 850 hPa

ขั้นตอนที่ 1 ค้นหาจุด singular point



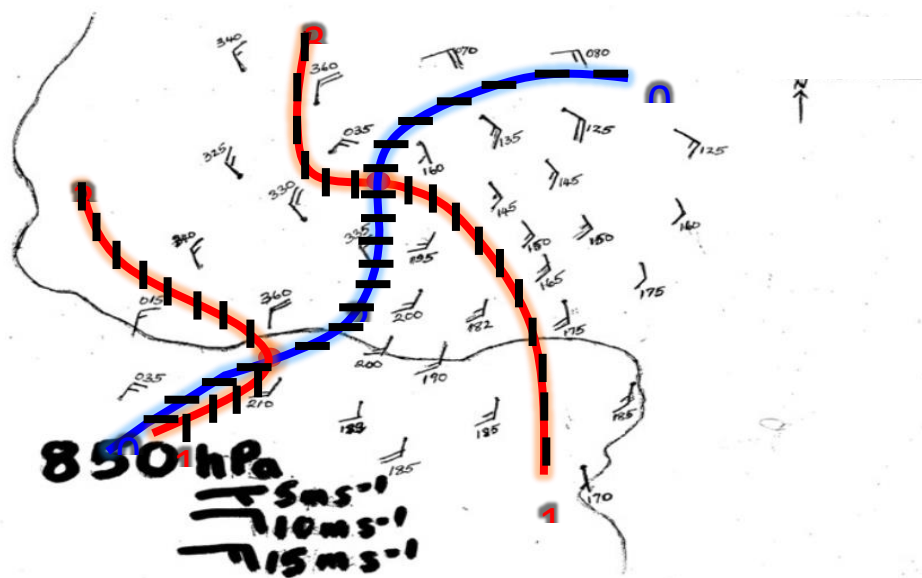
รูปที่ 2-3 ข จุด singular point

ขั้นตอนที่ 2-3-4 จำแนกทิศทางบริเวณจุด singular points ออกเป็นสี่ทิศทางหลักและลากเส้นเชื่อมต่อ

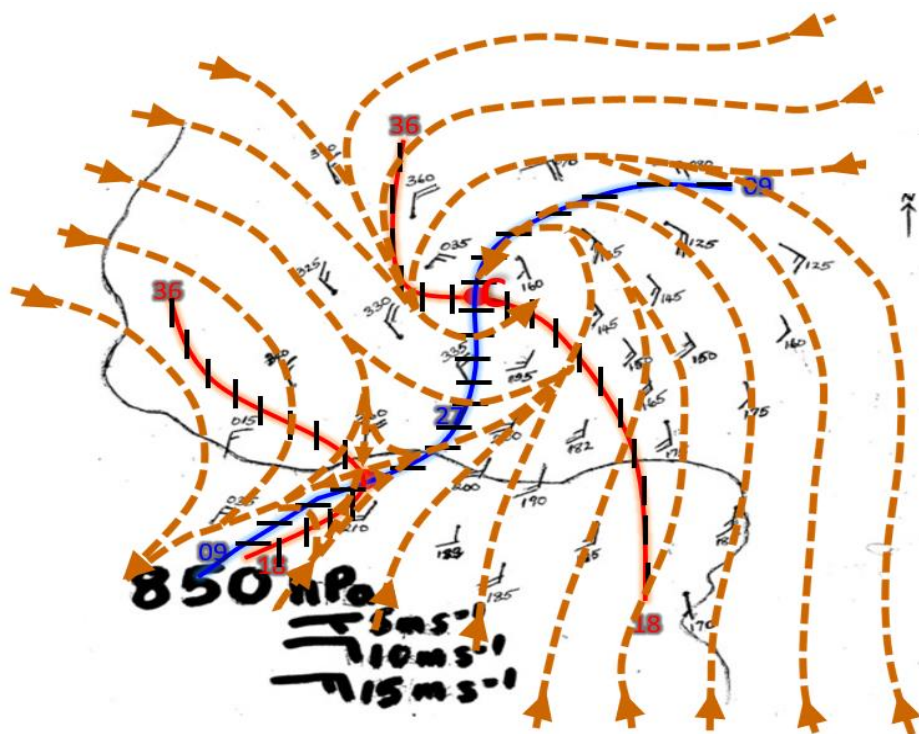


รูปที่ 2-3 ค การจำแนกทิศทางลมเท่าบริเวณจุด singular points

ขั้นตอนที่ 5-6-7 จำแนกเส้นทิศทางลมเท่าครวละ 30 องศา (ในกรณีขอละไว้) การเขียนเส้นประกอบย่อย และเส้นลายกระแส

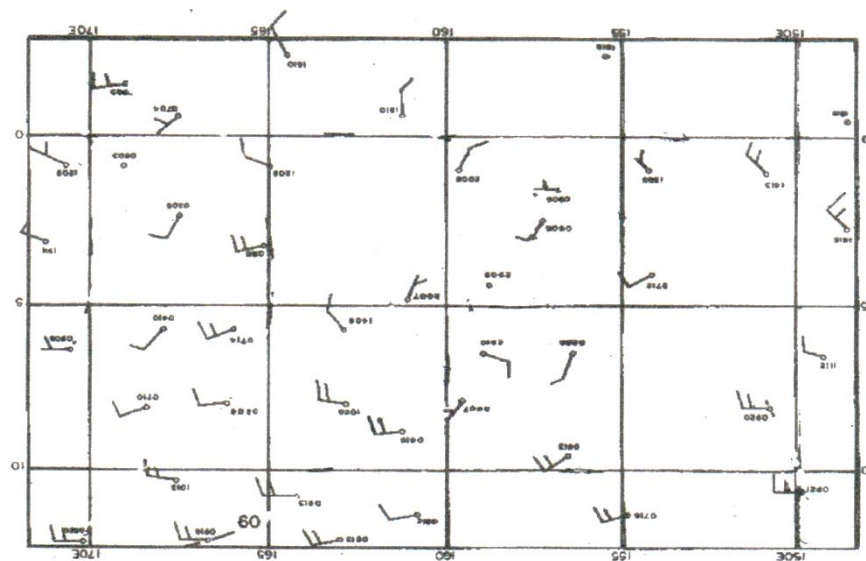


รูปที่ 2-3 ง เส้นประกอบย่อย

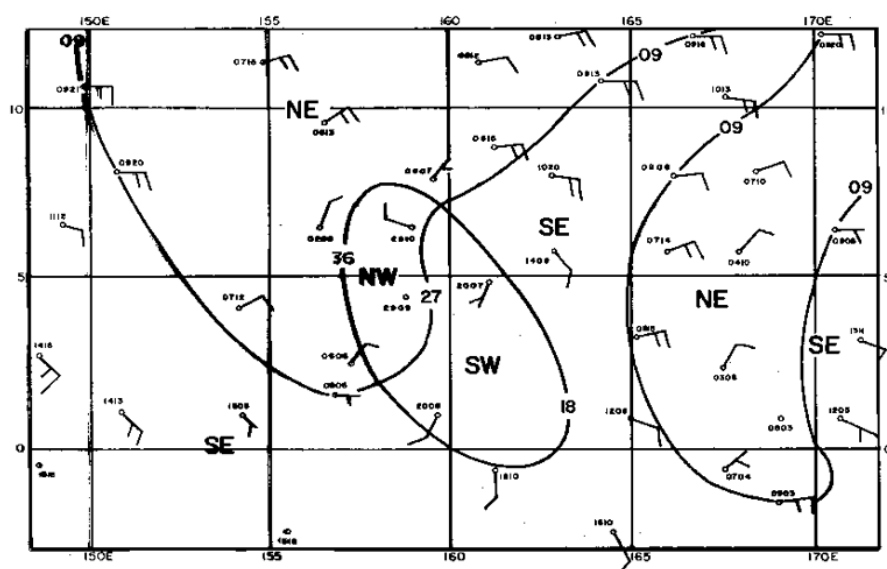


รูปที่ 2-3 จ แนวเส้นลายกระแสด้วยวิธีวิเคราะห์เส้นทิศทางลมเท่า

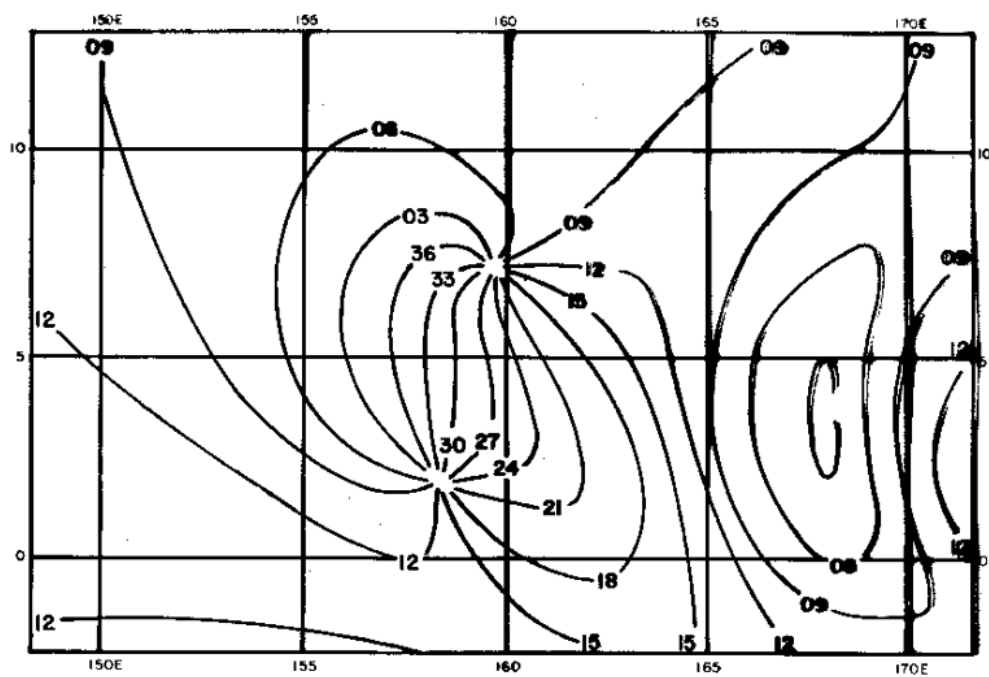
ตัวอย่างที่ 2 การวิเคราะห์เส้นทิศทางลมเท่าที่เป็นเส้นโค้งที่และวงปิด



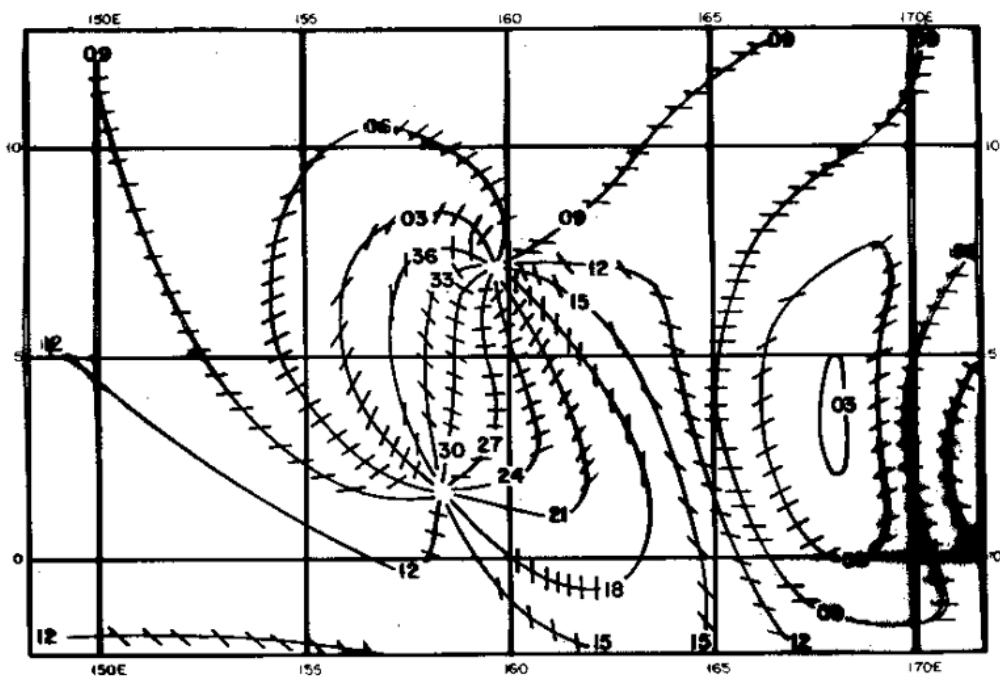
รูปที่ 2-4 ก ข้อมูลการตรวจอากาศชั้นบน



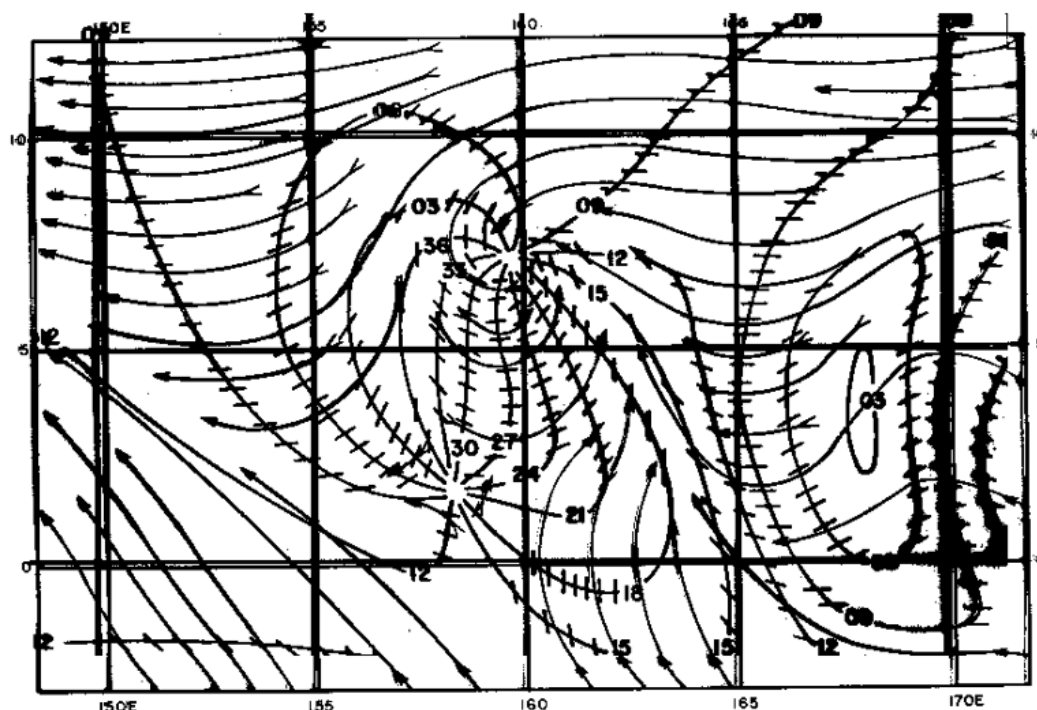
รูปที่ 2-4 ข การจำแนกทิศทางลมเท่าบริเวณจุด singular points และเส้นทิศทางหลัก



รูปที่ 2-4 ค การจำแนกทิศทางลมเท่าๆ 30 องศา



รูปที่ 2-4 ง การเขียนเส้นประกอบย่อย



รูปที่ 2-4 จ การลากเส้นลายกระแสด้วยวิธีวิเคราะห์เส้นทิศทางลมเท่า (Isogon)

(สำหรับแบบฝึกหัดการวิเคราะห์เส้นลายกระแสด้วยวิธีวิเคราะห์เส้นทิศทางลมเท่าได้รวบรวมไว้ในภาคผนวกแนบท้ายของเอกสารประกอบการบรรยาย)

3. การวิเคราะห์เส้นลายกระแสบแบบตรง (Direct streamline Analysis)

การวิเคราะห์เส้นลายกระแสเพื่อให้ได้รูปแบบของเส้นลายกระแสที่ใช้พรรณนาของสนามลม (wind field) ได้อย่างรวดเร็วนั้นควรเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์เส้นลายกระแสบแบบตรง เช่น หากบริเวณใดที่วิเคราะห์เส้นไอโซคอนแล้วไม่แสดงให้เห็นในลักษณะของจุดหมุนหรือบริเวณ neutral point เส้นลายกระแสบก็ควรที่จะลากสัมผัสไปตามทิศทางของลมที่รายงานและควรลากเส้นลายกระแสบลงบนแผนที่ให้มีจำนวนมากพอที่จะทำให้ทราบรูปถึงแบบของสนามลมได้ ระยะห่างของเส้นลายกระแสบอาจจะเท่ากัน (ถ้าเป็นไปได้) หรืออาจจะห่างกันมากก็ได้ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของข้อมูล เช่น บริเวณที่ข้อมูลหนาแน่นเส้นลายกระแสบอาจจะใกล้กันมากขึ้น ในทางกลับกันอาจจะอยู่ห่างกันหากความหนาแน่นข้อมูลลดลง ทั้งนี้เพราะเส้นลายกระแสบแสดงทิศทางของการเคลื่อนที่เท่านั้นไม่ได้บ่งบอกถึงความเร็ว จึงไม่สามารถนำเอาแนวคิดเกี่ยวกับความชัน (gradient) ซึ่งใช้กับการวิเคราะห์เส้นชั้นความสูงเท่า (contours) มาประยุกต์ใช้ได้อย่างสิ้นเชิง ส่วนบริเวณที่เส้นลายกระแสบมีแนวโน้มเข้าหากันแสดงการไหลรวมกัน (converging flow) ในรูปที่ 2-5 ก แสดงการกระจายออกของทิศทาง (directional divergence) และรูปที่ 2-5 ข แสดงการรวมกันของทิศทาง (directional convergence)



รูปที่ 2-5 ก เส้นลายกระแสบแบบไดเวอร์เจนซ์
จาก A ถึง B มีการเปลี่ยนแปลง
เพียงเล็กน้อยของทิศทางการเคลื่อนที่
แต่จาก B ถึง C คือไดเวอร์เจนซ์



รูปที่ 2-5 ข เส้นลายกระแสบแบบคอนเวอร์เจนซ์

3.1 ขั้นตอนในการวิเคราะห์เส้นลายกระแสบแบบตรง

ในการวิเคราะห์เส้นลายกระแสบแบบตรงแบ่งออกได้ 3 ขั้นตอน คือ

3.1.1 ขั้นตอนแรก ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์จริง ควรปฏิบัติดังนี้

1) ให้ทำการกำหนดตำแหน่งของรูปแบบที่โดดเด่นลงบนแผนที่อากาศ เช่น มองหาตำแหน่งของไซโคลน แอนตี้ไซโคลน คลื่น ร่องความกดอากาศต่ำ ลิ่มความกดอากาศสูง จุดเป็นกลาง Confluence/Diffluence และต้องแน่ใจว่าได้ทำการทำความเข้าใจของตำแหน่งศูนย์กลางของพายุหมุนเขตร้อนลงบนแผนที่อากาศตามที่ได้รับจากประกาศแจ้งเตือนหรือข้อแนะนำ (advisories) จากศูนย์แจ้งเตือนพายุหมุนเขตร้อน

2) ตรวจสอบความต่อเนื่อง โดยเฉพาะรูปแบบหลัก ๆ ที่ปรากฏในแผนที่อากาศที่ซึ่งตามปกติจะไม่หายไปหรือสลายตัวลงก่อนเวลา 12 ชั่วโมง

3) จินตนาการภาพรวมของแผนที่อากาศว่าหากวิเคราะห์เสร็จแล้วจะเป็นไปในรูปแบบใดก่อนที่จะทำการลากเส้นลายกระแสบเส้นแรก ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เรามองย้อนหลังกลับไปและรับรู้ถึงสถานะของบรรยากาศที่เกิดขึ้นเป็นเช่นไร

3.1.2 ขั้นตอนที่สอง ให้ร่างภาพ (sketch) เส้นลายกระแสบคร่าว ๆ บริเวณรูปแบบที่โดดเด่นต่าง ๆ เหล่านี้ก่อน เช่น บริเวณลิ่มความกดอากาศสูงกึ่งเขตร้อน (Subtropical ridge) ในซีกโลกเหนือหรือซีกโลกใต้ ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับแอนตี้ไซโคลนและจุดเป็นกลาง (neutral point) ตามด้วยการลากเส้นลายกระแสบในบริเวณที่ปราศจากการรบกวน เช่น บริเวณที่ลมค้าหรือบริเวณที่มรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดปกคลุม จากนั้นวิเคราะห์ในบริเวณพายุหมุนเขตร้อน ในแผนที่อากาศแถบนั้นน้ำข้อมูลค่อนข้างน้อยเราจำเป็นต้องใช้ภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาเติมเต็มช่องว่างของข้อมูลที่ขาดหายไป

1) ควรทำการวิเคราะห์ออกไปจากบริเวณแอนตี้ไซโคลนเข้าไปสู่ภายในบริเวณของศูนย์กลางไซโคลน

2) ต้องมั่นใจว่ามีการเคลื่อนที่กระจายออก (divergence flow) โดยรอบแอนตี้ไซโคลนและมีการเคลื่อนที่เข้าหากัน (convergence flow) รอบ ๆ ไซโคลน

3) ไม่ควรลากเส้นลายกระแสมากทุกจุดของข้อมูล ในบริเวณที่มีข้อมูลกระจุกตัวเป็นกลุ่มก้อนมักทำให้เกิดความยุ่งเหยิงและยากต่อการวิเคราะห์

3.1.3 ขั้นสุดท้าย หลังจากที่เราสร้างภาพเส้นลายกระแสเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการตรวจสอบข้อผิดพลาดก่อนและทำการลากเส้นลายกระแสจริงลงในแผนที่อากาศ

3.2 กฎเกณฑ์ของการวิเคราะห์เส้นลายกระแส (Rules of streamline analysis)

สำหรับการวิเคราะห์เส้นลายกระแสมีกฎเกณฑ์ที่ชัดเจนในการวิเคราะห์ที่ต้องปฏิบัติตาม (การวิเคราะห์เส้นลายกระแสอัตโนมัติไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ตามกฎเกณฑ์เหล่านี้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโปรแกรม)

3.2.1 เส้นลายกระแสที่มีลักษณะไม่เป็นแกน (Non-Asymptotes)

1) ต้องลากขนานไปกับการเคลื่อนที่ของลม ยกเว้นในพื้นที่ลมอ่อน

2) ทิศทางของการเคลื่อนที่แสดงโดยการใส่หัวและหางลูกศร

3) เมื่อลากไปบรรจบกับแกนแนวลมสอบควรราบเรียบ (ทำมุมเพียงเล็กน้อย) ไม่ลากไปบรรจบกันแบบอักษรตัว “T”

4) ไม่ลากเส้นกระแสตัดผ่านซึ่งกันและกัน

5) ให้เว้นระยะห่างระหว่างเส้นลายกระแสประมาณ $\frac{3}{4}$ - 1 นิ้ว หรือตามความเหมาะสมขึ้นอยู่กับขนาดของแผนที่อากาศ ไม่ควรลากเข้ามาชิดกันหรือห่างออกจากกัน (พยายามลากให้ขนานซึ่งกันและกัน) เพราะเส้นลายกระแสแสดงถึงทิศทางการเคลื่อนที่ไม่ใช่ความเร็วลม

6) ไม่ควรลากเส้นลายกระแสเปี่ยงเบนให้ผ่านจุดข้อมูล

3.2.2 เส้นลายกระแสที่มีลักษณะเป็นแกน (Asymptotes)

1) กำหนดตำแหน่งแกนของแนวลมพัดเข้าหากัน/พัดแยกออก (confluence/difluence) โดยกำกับด้วยสี (สำหรับแนวทางปฏิบัติของ กขอ.คปอ. ยกเว้นในข้อนี้)

2) แกนจัดเป็นเส้นลายกระแสรูปแบบหนึ่ง ดังนั้นจึงเป็นไปตามกฎที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อข้างต้น

3) แกนของแนวลมพัดเข้าหากัน (confluent asymptotes) เฉพาะในส่วนที่เป็นแกนให้ลงสีแดงไปตามแนวแกนโดยลงสีแดงก่อนและหลังสิ้นสุดแนวแกนประมาณ 1 นิ้ว (แนวทางปฏิบัติของ กขอ.คปอ. ยกเว้นในข้อนี้)

4) แกนของแนวลมพัดออก (Difluent asymptotes) เฉพาะในส่วนที่เป็นแกนให้ลงสัณน้ำเงินไปตามแนวแกนโดยลงสัณน้ำเงินก่อนและหลังสิ้นสุดแนวแกนประมาณ 1 นิ้ว (แนวทางปฏิบัติของ กขอ.คปอ. ยกเว้นในข้อนี้)

5) เราสามารถลากแกนของแนวลมพัดเข้าหากัน (confluent asymptote) ไปบรรจบกับแกนของแนวลมพัดเข้าหากันอีกแกนหนึ่งได้ หรือลากแกนของแนวลมพัดออก (difluent asymptote) ไปบรรจบกับแกนของแนวลมพัดเข้าหากัน (confluent asymptotes) หรือลากแกนของแนวลมพัดออก (difluent asymptote) ออกจากแกนของแนวลมพัดออก (difluent asymptote) อีกแกนหนึ่งได้

6) แต่เราจะไม่ลากแกนของแนวลมพัดเข้าหากัน (confluent asymptote) ไปบรรจบกับแกนของแนวลมพัดออก (difluent asymptote) หรือลากแกนของแนวลมพัดออก (difluent asymptote) ออกจากแกนของแนวลมพัดเข้าหากัน (confluent asymptote)

3.2.3 เส้นลายกระแสน้ำที่มีลักษณะเป็นจุดหมุน (Vortices)

3.2.3.1 เส้นลายกระแสน้ำบริเวณจุดหมุนแบบไซโคลน (Cyclonic vortices)

1) จุดหมุนแบบไซโคลน (Cyclonic vortices) แบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ

1.1) ไซโคลนแบบเคลื่อนที่เข้าหาจุดศูนย์กลาง (cyclonic indraft) ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาในซีกโลกเหนือ โดยทั่วไปพบในบรรยากาศระดับต่ำ

1.2) ไซโคลนแบบเคลื่อนที่ออกจากจุดศูนย์กลาง (cyclonic outdraft) ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาในซีกโลกเหนือ โดยทั่วไปพบอยู่เหนือบริเวณพายุหมุนเขตร้อนกำลังแรง

2) ใส่สัญลักษณ์ด้วยอักษรตัว “C” สีแดง

3) เชื่อมต่อกันด้วยแกนของแนวลมพัดเข้าหากัน (confluent asymptotes)

4) ควรจะมีแกนของแนวลมพัดเข้าหากัน (confluent asymptotes) อย่างน้อย 2 แกนวนเข้าภายในสู่จุดในเชิงทฤษฎี (theoretical point)

5) แกนของแนวลมพัดเข้าหากันไม่จำเป็นต้องบรรจบกันที่จุดศูนย์กลาง เพียงแต่อยู่ตรงกันข้ามซึ่งกันและกันและคนละฝั่งของจุดหมุนนั้นก็เพียงพอแล้ว

3.2.3.2 เส้นลายกระแสน้ำบริเวณจุดหมุนแบบแอนตี้ไซโคลน (Anticyclonic vortices)

1) จุดหมุนแบบแอนตี้ไซโคลน (Anticyclonic vortices) แบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ

1.1) แอนตี้ไซโคลนแบบเคลื่อนที่เข้าหาจุดศูนย์กลาง (Anticyclonic indraft) ในทิศทางตามเข็มนาฬิกาในซีกโลกเหนือ พบในการหมุนของพายุทอร์นาโด (anticyclonic rotating tomadoes)

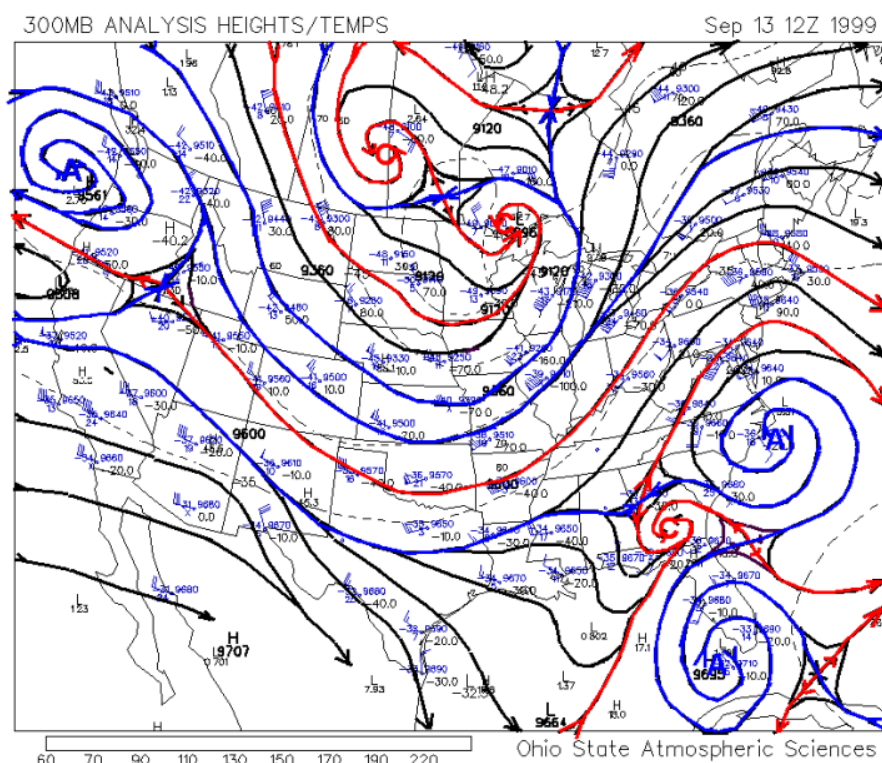
1.2) แอนตี้ไซโคลนแบบเคลื่อนที่ออกจากจุดศูนย์กลาง (cyclonic outdraft) ในทิศทางตามเข็มนาฬิกาในซีกโลกเหนือ

2) ใส่สัญลักษณ์ด้วยอักษรตัว “A” สัณน้ำเงิน

- 3) เชื่อมต่อกันโดยแกนของแนวลมพัดออก (difluent asymptotes)
- 4) ควรจะมีแกนของแนวลมพัดออก (difluent asymptotes) อย่างน้อย 2 แกนวนออก
จากจุดในเชิงทฤษฎี (theoretical point)
- 5) แกนของแนวลมพัดออกไม่จำเป็นต้องบรรจบกันที่จุดศูนย์กลาง เพียงแต่อยู่ตรงกัน
ข้ามซึ่งกันและกันและคนละฝั่งของจุดหมุนนั้นก็เพียงพอแล้ว

3.2.4 เส้นสายกระแสที่มีลักษณะเป็นบริเวณจุดเป็นกลาง (Neutral points)

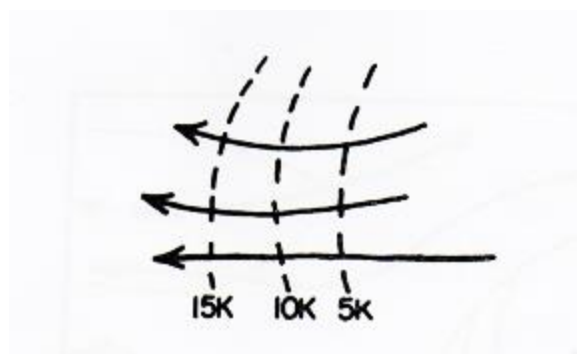
- 1) ต้องอยู่ระหว่างระบบที่เหมือนกัน 2 ระบบ (เช่น ระหว่างแอนติไซโคลนสองตัวหรือไซโคลน
สองตัว)
- 2) ต้องไม่เชื่อมต่อกันโดยตรง (เช่น จากจุดเป็นกลางหนึ่งไปสู่อีกจุดเป็นกลางอันอื่นไม่ว่าจะเป็น
ระยะทางเท่าใดก็ตาม)
- 3) เป็นพื้นที่ขนาดเล็กและล้อมรอบด้วยเส้นความเร็วลมเท่า (isotach) 5 นอตที่ระดับผิวพื้น
และระดับกราเดียน (gradient level) ประมาณ 1,000 เมตรหรือ 3,000 ฟุตเหนือพื้นผิวโลก และ 10 นอตใน
บรรยากาศระดับบนของแผนที่อากาศชั้นบน (upper level chart)
- 4) เป็นบริเวณที่แยกเชิรไลน์ (shear line) ออกจากแนวปะทะอากาศ



รูปที่ 2-6 การวิเคราะห์เส้นสายกระแสแบบตรง ที่ระดับ 300 hPa (ทอ.อเมริกัน)

4. การวิเคราะห์เส้นความเร็วลมเท่า (Isotach analysis)

การวิเคราะห์สนามการเคลื่อนที่ (field of motion) จะไม่สมบูรณ์หากปราศจากการวิเคราะห์เส้นความเร็วลมเท่า (isotach analysis) การเพิ่มเติมเส้นความเร็วลมเท่าลงไปในรูปแบบของการเคลื่อนที่ของอากาศทำให้เราสามารถที่จะประเมินในเชิงคุณภาพได้ด้วยการสำรวจ ตรวจสอบด้วยสายตาถึงพื้นที่ที่มีคุณลักษณะเป็นพื้นที่ที่มีการลดการสะสมของมวลของอากาศลง และพื้นที่ที่มีการสะสมมวลของอากาศเพิ่มขึ้น (mass divergence and convergence) ในระดับใด ๆ ที่ต้องการหาคำตอบเมื่อบริเวณเหล่านั้นมีความเร็วและทิศทางเป็นไดเวอร์เจนซ์หรือคอนเวอร์เจนซ์



รูปที่ 2-7 ก ไดเวอร์เจนซ์ความเร็ว

(speed divergence)

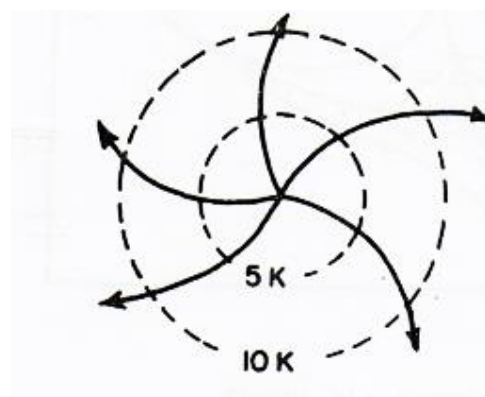
(Positive speed divergence)



รูปที่ 2-7 ข คอนเวอร์เจนซ์ความเร็ว

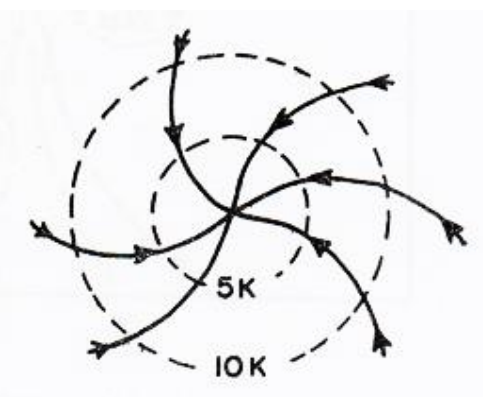
(speed convergence)

(Negative speed divergence = convergence)



รูปที่ 2-7 ค ไดเวอร์เจนซ์ความเร็วและทิศทาง

(Positive speed and directional divergence)



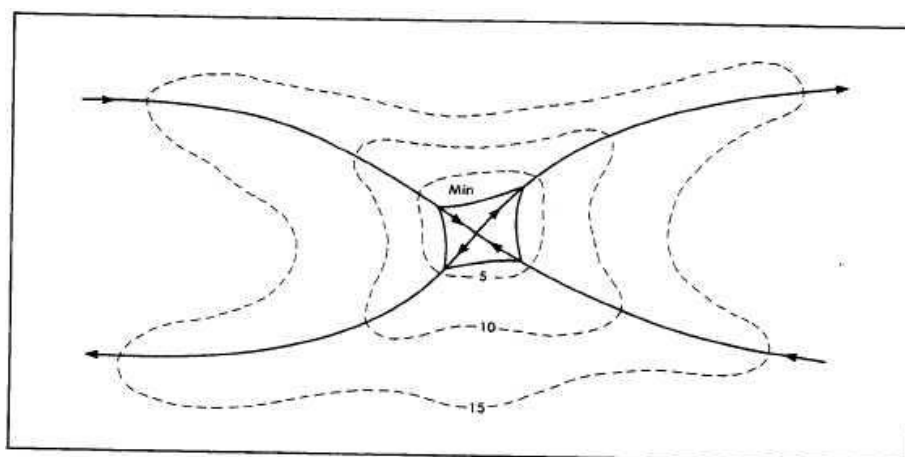
รูปที่ 2-7 ง คอนเวอร์เจนซ์ความเร็วและทิศทาง

(Negative speed and directional divergence)

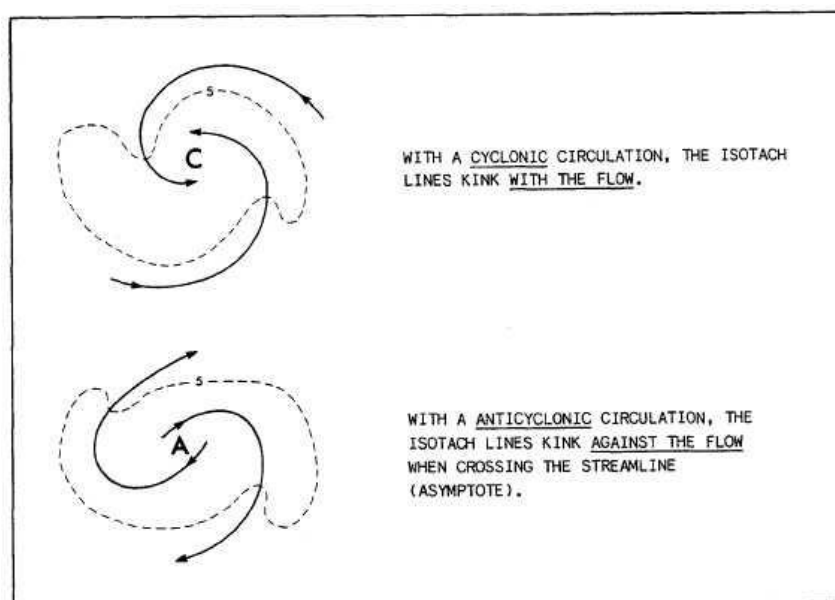
หลักการวิเคราะห์เส้นความเร็วลมเท่า

1. หลักใหญ่ ๆ ของรูปแบบเส้นความเร็วลมเท่าคือมีแนวโน้มที่จะขนานไปกับเส้นสายกระแส โดยที่บริเวณที่มีลมแรงกว่า (higher wind speed) รูปแบบของเส้นความเร็วลมเท่าค่อนข้างจะขนานและเรียวยาวออกไปตามแนวของเส้นสายกระแส ในขณะที่บริเวณลมที่อ่อนกว่า (lower wind speed) รูปแบบของเส้นความเร็วลมเท่าจะขยายกว้างขึ้น

2. บริเวณพื้นที่ความเร็วลมต่ำสุด (wind speed minima) คือบริเวณลมอ่อนหรือไม่มีความเร็วลม (no wind) เส้นความเร็วลมเท่ามีแนวโน้มที่จะยืดเหยียดไปตามแนวแกนของคอนเวอร์เจนซ์และไดเวอร์เจนซ์ ในทางทฤษฎี บริเวณศูนย์กลางของการหมุนเวียน (singular point) และจุดเป็นกลาง (neutral point) ล้วนแล้วแต่เป็นบริเวณที่มีเงื่อนไขแบบ “ไม่มีความเร็วลม” เกิดขึ้นทั้งนั้น



รูปที่ 2-8 ก เส้นความเร็วลมเท่าบริเวณจุดเป็นกลาง (neutral point)

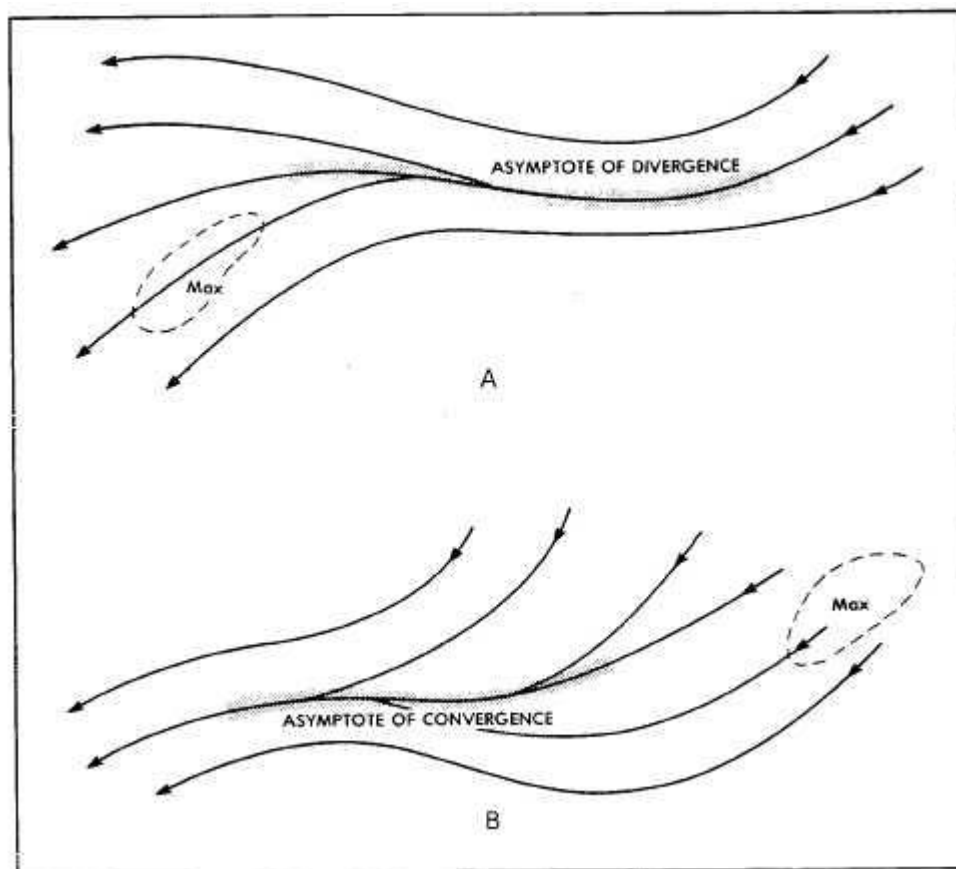


รูปที่ 2-8 ข เส้นความเร็วลมเท่าบริเวณการหมุนเวียนแบบไซโคลนและแอนติไซโคลน

ข้อสังเกต

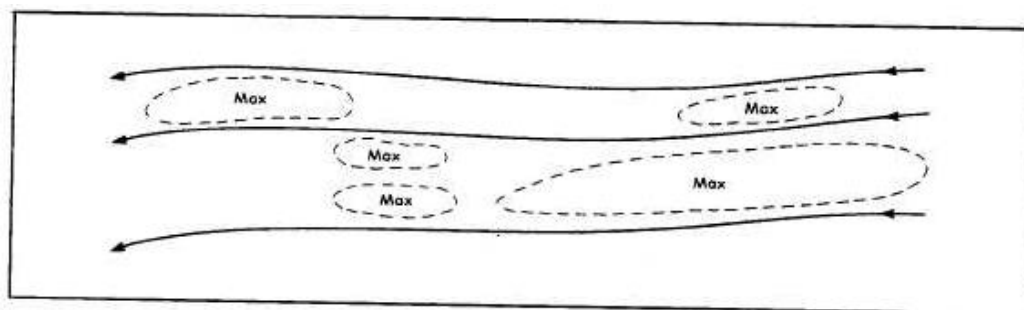
จากรูปที่ 2-8 ก และ ข พบว่าลักษณะของเส้นความเร็วลมเท่าจะเป็นรอยหยัก (kink) หรือบิดโค้งเมื่อลากผ่านแนวของเส้นลายกระแส ในกรณีของการหมุนเวียนแบบไซโคลนรอยหยักจะเป็นไปในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ (เข้าหาศูนย์กลาง) แต่สำหรับการหมุนเวียนแบบแอนตี้ไซโคลนรอยหยักจะเป็นไปในทิศทางตรงกันข้ามกับการเคลื่อนที่ (เข้าหาศูนย์กลาง)

3. บริเวณพื้นที่ความเร็วสูงสุด (Isotach maxima) มีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นทางด้านต้นลม (upstream) จากศูนย์กลางของเส้นลายกระแสที่เป็นคอนเวอร์เจนซ์ในบริเวณด้านข้างด้านใดด้านหนึ่งของแกนทิศทางแนวลมพัดเข้าหากัน (Asymptote of directional convergence) ในทำนองเดียวกันบริเวณความเร็วลมสูงสุดมีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นทางด้านปลายลมจากศูนย์กลางของเส้นลายกระแสที่เป็นไดเวอร์เจนซ์ในบริเวณด้านข้างด้านใดด้านหนึ่งของแกนทิศทางแนวลมพัดแยกออก (Asymptotes of directional divergence) ดังรูปที่ 2-9 (ในทางปฏิบัติอาจไม่เป็นจริงเสมอไปแต่มันเป็นกฎมากกว่าที่จะเป็นข้อยกเว้น) การวิเคราะห์ในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้โดยปกติบริเวณที่แสดงความเร็วลมสูงสุดมักจะอยู่ทางตอนใต้และด้านตะวันตกของศูนย์กลางแอนตี้ไซโคลน การวิเคราะห์จึงต้องจดจำข้อเท็จจริงนี้ไว้ในใจเสมอในขณะทำการวิเคราะห์ (ตกอยู่ภายใต้อิทธิพลของ STH)



รูปที่ 2-9 บริเวณพื้นที่ความเร็วสูงสุดตามแนวแกนไดเวอร์เจนซ์(A)และคอนเวอร์เจนซ์(B)

ในกรณีของสมคำหรือกระแสหลัก ๆ ที่พัดจากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตก ตามปกติบริเวณความเร็วลมเท่าสูงสุดมักพบว่าวางตัวอยู่ระหว่างกลางขนานไปกับแนวของเส้นลายกระแส ซึ่งบางครั้งอาจพบทั้งสองด้านของเส้นลายกระแส



รูปที่ 2-10 บริเวณพื้นที่ความเร็วสูงสุดตามแนวกระแสลม

4. การพิจารณาค่าความเร็วไดเวอร์เจนซีในแนวระนาบ (horizontal velocity divergence)

จากรูปที่ 2-7 ก และ ข เป็นแบบจำลองของเส้นลายกระแสและเส้นความเร็วลมเท่า (เส้นประ) ที่แสดงให้เห็นถึงสถานการณ์ในรูปแบบของความเร็วไดเวอร์เจนซีในแนวระนาบ (speed divergence)

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าเราไม่อาจที่จะระบุได้อย่างแท้จริงเกี่ยวกับการลดลงหรือการเพิ่มขึ้นของมวลของอากาศ (mass divergence or convergence) ถ้าปราศจากการตั้งสมมุติฐานที่ว่า หากเส้นลายกระแสที่ขนานซึ่งกันและกันนั้นคือไม่มีไดเวอร์เจนซี (no divergence) หรือเส้นลายกระแสเหล่านั้นแสดงให้เห็นถึงไดเวอร์เจนซีดังแสดงในรูปที่ 2-7 ค และ ง ซึ่งเป็นแบบจำลองของเส้นลายกระแสและเส้นความเร็วลมเท่าที่อาจพิจารณาให้เป็นความเร็วไดเวอร์เจนซีในแนวระนาบ (horizontal velocity divergence) ได้อย่างรวดเร็ว โดยรูปที่ 2-7 ค ผลการพิจารณาจะเป็นบริเวณของไดเวอร์เจนซีที่มีค่าเป็นบวก (positive divergence) และเป็นบริเวณที่มีการสะสมของมวลของอากาศลดลง (mass divergence) ซึ่งแปลความได้ว่าเป็นบริเวณที่มีการเคลื่อนที่ลงในแนวตั้ง (จมตัว) ส่งผลต่อการเกิดสภาพอากาศดี ในขณะที่รูปที่ 2-7 ง ผลการพิจารณาจะเป็นบริเวณของไดเวอร์เจนซีที่มีค่าเป็นลบ (negative divergence) หรืออีกนัยหนึ่งก็คือคอนเวอร์เจนซีและเป็นบริเวณที่มีการสะสมของมวลของอากาศเพิ่มขึ้น (mass convergence) ซึ่งแปลความได้ว่าเป็นบริเวณที่มีการเคลื่อนที่ขึ้นในแนวตั้ง (ยกตัวขึ้น) ส่งผลต่อการเกิดสภาพอากาศไม่ดี

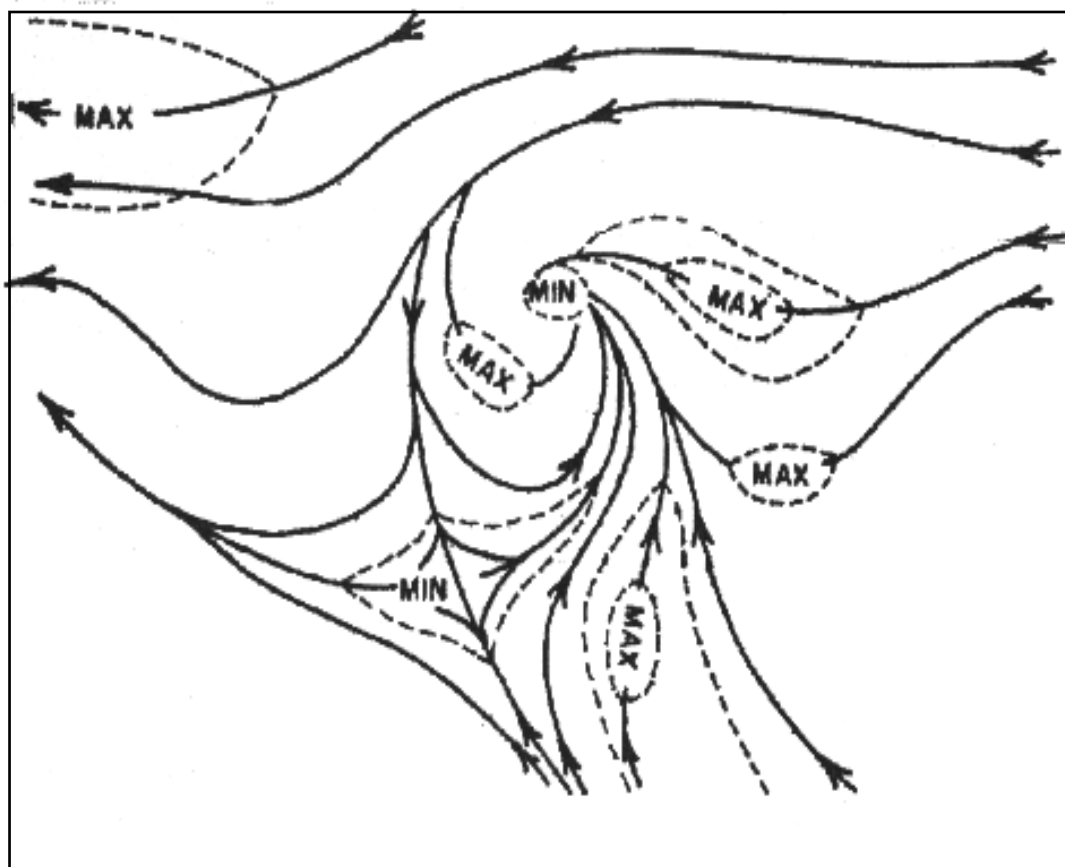
5. แสดงด้วยเส้นประสีเขียวทุก ๆ ช่วงความเร็ว 5 นอตถึงความเร็ว 20 นอต หลังจากนั้นช่วงละ 10 นอต

6. เส้นความเร็วลมเท่าที่มีค่าต่างกันจะไม่ตัดกัน อาจจะมีสัมผัสโค้งไปตามการไหลของลมหรือไม่ก็ได้

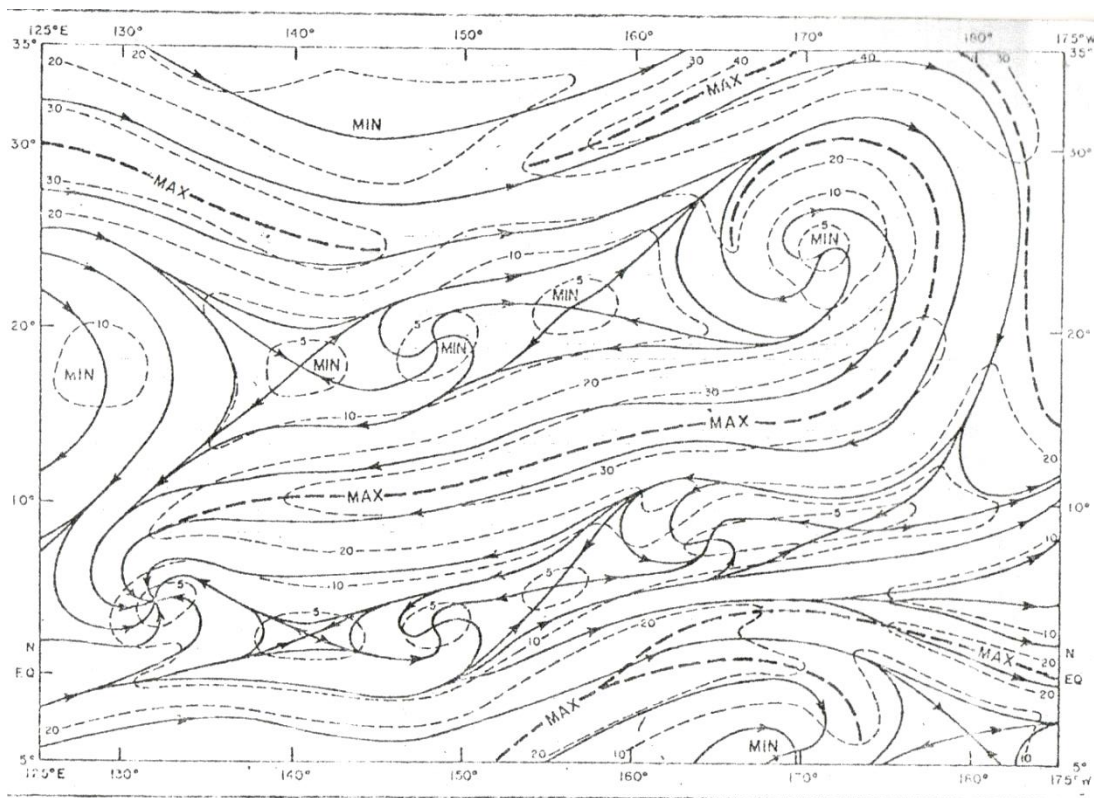
7. ในบริเวณพื้นที่ที่มีความเร็วลม 30 นอตหรือมากกว่าให้แรเงา (shaded) ด้วยสีม่วง ส่วนบริเวณพื้นที่ที่มีความเร็วลม 10 นอตหรือน้อยกว่าให้แรเงาด้วยสีเหลือง นอกจากการแรเงาแล้วให้ใส่คำว่า “MAX”, “MIN” กำกับไว้ในพื้นที่ดังกล่าวตามลำดับ (กขอ.คปอ. วิเคราะห์ตามระเบียบปฏิบัติในการวิเคราะห์แผนที่อากาศชั้นบน)

8. บริเวณจุด singular point ทั้งหมดมีความเร็วเท่ากับศูนย์

9. บริเวณอื่น ๆ ของความเร็วลมต่ำสุดมีความเร็วกว่าศูนย์
10. ลมอ่อนในบริเวณที่เส้นสายกระแสมีความโค้งแคบ ๆ (sharp curve) และบริเวณที่ปรากฏ singular point อยู่เหนือหรือตอนล่างของระดับลมที่ทำการวิเคราะห์อยู่



รูปที่ 2-11 ตำแหน่งเส้นความเร็วลมเท่าสูงสุดและต่ำสุด (Maxima and Minima isotach)



รูปที่ 2-12 การวิเคราะห์เส้นสายกระแสและเส้นความเร็วลมเท่าในระดับต่ำบริเวณด้านตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิกเหนือในช่วงฤดูร้อน

5. ความสัมพันธ์ของลมและสภาพอากาศ (Correlation of wind and weather)

ตรานที่เมฆส่วนใหญ่เกิดจากอากาศเคลื่อนตัวขึ้น และจากการที่คอนเวอร์เจนซ์ในแนวตั้ง (vertical convergence) ของอากาศสามารถที่จะอนุมาณได้จากองค์ประกอบในแนวนอนของทิศทางและความเร็วลมในสนามลมที่พัดผ่านพื้นที่ที่กว้างใหญ่ โดยทั่วไปรูปแบบของสภาพอากาศที่หลากหลายและรูปแบบของสภาพอากาศเฉพาะในเขตร้อนมีความสัมพันธ์โดยตรงกับรูปแบบของเส้นสายกระแสทุกระดับ

ความสัมพันธ์ที่สมบูรณ์ของลมและสภาพอากาศจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์สนามลมในหลายระดับ อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของข้อมูลและเวลาโดยทั่วไปจึงพิจารณาความสัมพันธ์เพียงสองระดับกล่าวคือเส้นสายกระแสในระดับต่ำ (low level streamlines) ระหว่างระดับความสูงที่ 2,000 ถึง 5,000 ฟุต และเส้นสายกระแสที่ระดับความสูง 200 hPa ซึ่งกฎของความสัมพันธ์มีดังต่อไปนี้

1. บริเวณที่เส้นสายกระแสในระดับต่ำมีลักษณะเป็นไดเวอร์เจนซ์โดยกำลังปานกลางถึงกำลังแรง มักจะปรากฏเป็นเมฆ Cu humilis (เมฆ Cu ก้อนเล็ก ๆ) ปกคลุมน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของพื้นที่ และเมื่อมีเชียร์ในทางตั้งแรงขึ้นเกิดร่วมกับไดเวอร์เจนซ์กำลังแรง เมฆ Cu จะถูกทำให้ยืดยาวและฉีกขาด และอาจมีเมฆ SC เกิดร่วมด้วย
2. บริเวณตอนเหนือของความเร็วลมสูงสุด (Maximum) ของลมค้าในซีกโลกเหนือ ส่วนใหญ่เชียร์ในทางตั้งของลมในระดับต่ำจะมีกำลังแรง และชั้นอุณหภูมิกลับของลมค้าอยู่ในระดับต่ำ ลักษณะดังกล่าวจะ

ปรากฏเป็นเมฆ Sc เป็นส่วนใหญ่ ถ้าเส้นลายกระแสดังกล่าวเป็นไดเวอร์เจนซ์ เมฆที่เกิดขึ้นจะปกคลุมเป็นหย่อมๆ ครอบคลุมพื้นที่ 5-7/8 ส่วน (BKN) ถึงแม้ว่าจะมีลักษณะเป็นคอนเวอร์เจนซ์กำลังอ่อนถึงปานกลางในระดับต่ำก็ตามเมฆ Cu จะก่อตัวได้น้อยมาก ซึ่งตามปกติส่งผลทำให้จำนวนของเมฆ Sc เพิ่มขึ้นทางด้านตะวันตกและตอนใต้ศูนย์กลางของ Subtropical high (STH)

3. หากระดับต่ำมีเชิรในทางตั้งกำลังอ่อนและเส้นลายกระแสดังกล่าวเป็นคอนเวอร์เจนซ์ และมีกำลังอ่อนถึงปานกลางบริเวณตอนใต้ของความเร็วลมสูงสุด (MAX) ของลมค้า คาดได้ว่าจะมีการก่อตัวเป็นเมฆ Cu ที่มียอดสูงมากขึ้นและจำนวนเมฆ Cu จะเพิ่มขึ้นเกินกว่าที่คาดไว้ในบริเวณที่มีการไหลแบบไดเวอร์เจนซ์แต่จะไม่แผ่เป็นวงกว้าง ถึงแม้ว่าคอนเวอร์เจนซ์ที่มีกำลังแรงมากก็ตามเมฆ Cu ก็ก่อตัวขึ้นได้แต่จะพบช่องว่างระหว่างเมฆก้อนเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปของการเกิดคอนเวอร์เจนซ์ที่มีกำลังแรงขึ้นจะทำให้ความสูงของเมฆก้อนสูงขึ้น

4. แกนคอนเวอร์เจนซ์ในระดับต่ำจะเกี่ยวข้องกับแนวเมฆ Cu หรือ Tcu หรือ Cb โดยเฉพาะหากแกนนั้นเกิดร่วมกับสนามลมที่มีเส้นความเร็วลมเท่ามีค่าต่ำสุด (MIN)

5. แนวปะทะอากาศแถบขั้วโลกที่เคลื่อนเข้ามาในเขตร้อนน้อยครั้งจะเข้ามาถึงน่านน้ำแถบละติจูดที่ 15 องศาเหนือ/ใต้ แนวปะทะอากาศดังกล่าวบ่อยครั้งที่สังเกตได้จากแนวเมฆ Tcu หากมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติอย่างรวดเร็วในกรณีเช่นนี้จะปรากฏให้เห็นเส้นลายกระแสดังกล่าวมีลักษณะเป็นแกนของคอนเวอร์เจนซ์ที่วางแนวจากทางทิศตะวันออกไปทางทิศตะวันตกหรือจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือไปทิศตะวันตกเฉียงใต้จากบริเวณจุดเป็นกลาง (Neutral point) ที่อยู่ระหว่างแอนตี้ไซโคลนแถบละติจูดกลางสองตัว (ศูนย์กลางของความกดอากาศสูง) ส่วนใหญ่ความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสองด้านของแนวปะทะอากาศน้อยมาก ถึงกระนั้นแนวเมฆจะยังคงอยู่ชั่วขณะหลังจากความแตกต่างของมวลอากาศนั้นหมดไปแล้วก็ตาม

6. แกนคอนเวอร์เจนซ์ระดับต่ำในสนามลมอาจไม่จำเป็นต้องเกิดแนวเมฆ (cloud line) ก็ได้ หากปรากฏว่ามีไดเวอร์เจนซ์ความเร็ว (speed divergence) กำลังแรงตามแนวนี้อาจจะมีเมฆหรือฝนเกิดร่วมกับแนวนี้ได้บ้าง แต่ถ้าวัดตกอยู่ภายใต้อิทธิพลของคอนเวอร์เจนซ์ความเร็ว (speed convergence) สภาพอากาศไม่ดีอาจจะพบได้เป็นบางช่วงตามแนวนี้

6. ข้อเสนอแนะขั้นตอนการดำเนินการวิเคราะห์เส้นลายกระแสดแบบตรงและเส้นความเร็วลมเท่า

(suggested procedures for performing free hand streamline and isotach analysis)

1. ภูมิศาสตร์ (Geography) ควรตรวจสอบรายละเอียดลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ที่จะทำการวิเคราะห์ให้เรียบร้อยก่อน สิ่งนี้จะช่วยให้ผู้วิเคราะห์เข้าใจอย่างถ่องแท้ถึงการเปลี่ยนแปลงในท้องถิ่นซึ่งอาจจะเหนี่ยวนำการไหลเวียนของอากาศอันเนื่องจากการรูก้ำของลักษณะภูมิประเทศที่อยู่ในบรรยากาศด้านล่าง

2. ศึกษารายละเอียดค่าเฉลี่ยของสนามลมสำหรับพื้นที่ที่เกี่ยวข้อง ทั้งในระดับผิวพื้นและระดับต่าง ๆ ในบรรยากาศชั้นบน สิ่งนี้จะช่วยให้ผู้วิเคราะห์ได้แนวคิดว่าจะไร้ที่ควรคาดหมายในแผนที่อากาศผิวพื้นในแต่ละวัน

และจากการที่ศึกษาค่าเฉลี่ยของสนามลมจะทำให้รับรู้ถึงลักษณะความคงอยู่อย่างต่อเนื่องของรูปแบบทั่ว ๆ ไปในพื้นที่ในช่วงเวลาที่จะทำการวิเคราะห์ มีข้อเสนอแนะเบื้องต้นให้ผู้วิเคราะห์ต้องกำหนดขอบเขตในการศึกษาค่าเฉลี่ยของสนามลมในห้วงเวลา 3 เดือน กล่าวคือเดือนปัจจุบัน, เดือนก่อนหน้า (วัตถุประสงค์เพื่อพิจารณาความต่อเนื่อง) และเดือนถัดไป (อาจเป็นไปได้ที่อยู่ในขั้นของการเปลี่ยนผ่านไปสู่อีกระบบหนึ่งหรือคาดการณ์การเปลี่ยนแปลง)

3. การวิเคราะห์แผนที่อากาศชั้นบน

- 1) ตรวจสอบรูปแบบที่สำคัญตามหลักภูมิอากาศ
- 2) วิเคราะห์แนวลิ้มความกดอากาศสูง (ridge line) และแนวร่องความกดอากาศต่ำ (Trough line) (จุดเป็นกลาง (neutral point) เป็นตัวแบ่งแยกแทรกอยู่ในแนวเหล่านี้)
- 3) ค้นหาศูนย์กลางของจุดหมุนเวียนตามแนวลิ้มความกดอากาศสูงและแนวร่องความกดอากาศต่ำ
- 4) วิเคราะห์แกนไดเวอร์เจนซ์และคอนเวอร์เจนซ์ต่อออกไปจากจุดเป็นกลาง (neutral point)
- 5) วิเคราะห์เส้นความเร็วลมเท่าสูงสุด (isotach maxima) ด้วยความระมัดระวัง และจากข้อเท็จจริงที่บริเวณลมต่ำสุด (minima) ได้ถูกกำหนดไว้เรียบร้อยแล้วต้องเป็นบริเวณของ singular point และ จุดเป็นกลาง (neutral point)
- 6) ลากเส้นลายกระแสให้เพียงพอเพื่อให้เห็นภาพรูปแบบของการไหลเวียนได้เป็นอย่างดี พร้อมกับใส่ลูกศรเพื่อให้เข้าใจถึงทิศทางของการไหล

บทที่ 3

รูปแบบแบบจำลองของเส้นลายกระแสและเส้นความเร็วลมเท่า (Streamline/Isotach model patterns)

1. กล่าวนำ

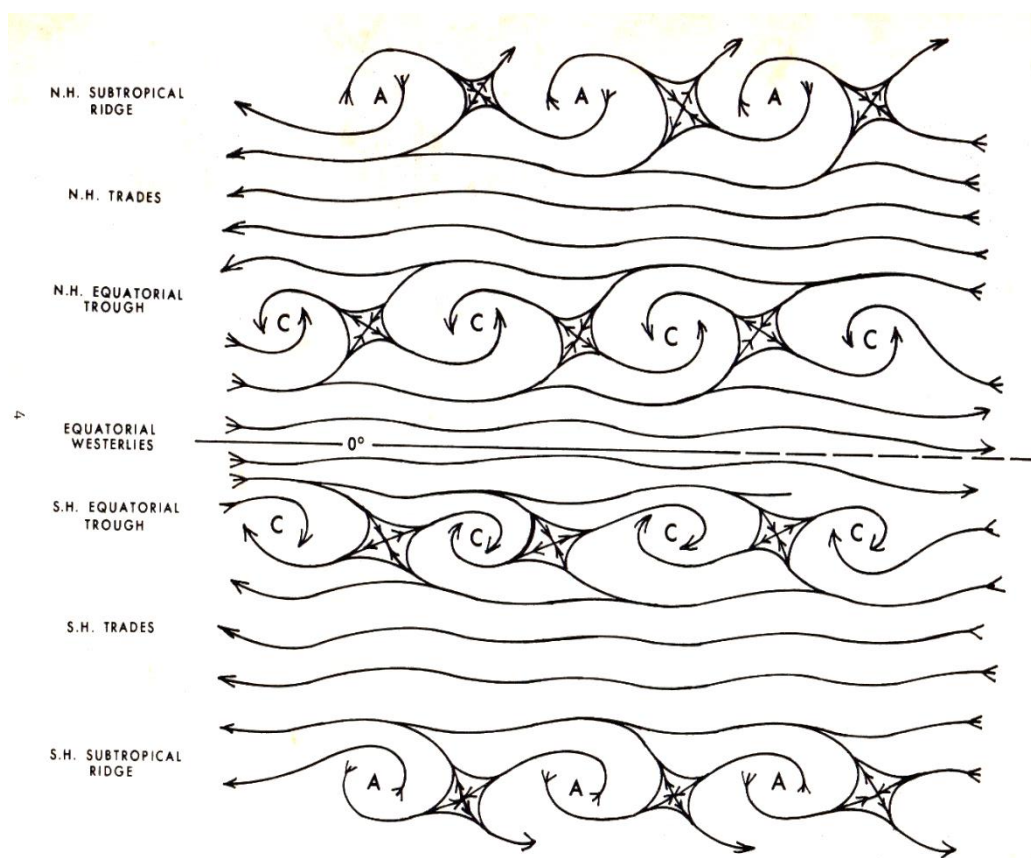
การวิเคราะห์สนามลม (wind field) นับว่าได้รับความนิยมต่อเนื่องเป็นอย่างมาก เพราะมีความน่าเชื่อถือและมีนัยสำคัญที่เป็นเครื่องช่วยในการพยากรณ์อากาศของนักพยากรณ์อากาศในเขตร้อน ซึ่งแตกต่างจากเขตอบอุ่น ทั้งนี้เพราะความชันของความกดอากาศ อุณหภูมิ ความชื้นไม่สามารถสื่อความหมายได้อย่างเพียงพอที่ใช้อธิบายสภาพอากาศที่เกิดขึ้นได้อย่างสมเหตุผล การวิเคราะห์ที่ออกแบบโดยใช้มือ (manual) ของเส้น 2 ชนิดอันประกอบด้วยเส้นลายกระแสที่แสดงถึงทิศทางลมและเส้นความเร็วลมเท่าแสดงความเร็วลม นับว่าง่ายและเป็นที่ยอมรับอย่างมากที่สุด

นักพยากรณ์อากาศในเขตร้อนประสบกับปัญหาในพื้นที่อยู่เป็นประจำจากการที่เครือข่ายข้อมูลกระจาย กระจาย สภาวะเงินเฟ้อในช่วงปี 1970 ส่งผลต่อการติดตั้งเครื่องมือตรวจอากาศจึงนำไปสู่การขาดข้อมูลเพิ่มมากขึ้น ในน่านน้ำมหาสมุทรยังได้รับผลกระทบอย่างมากจากการลดลงของจำนวนเรือตรวจอากาศ ประกอบกับการลดลงของข้อมูลการตรวจอากาศชั้นบนของสถานีที่ตั้งอยู่บนเกาะ สองสามปีที่ผ่านมาหลายประเทศได้ลดจำนวนการตรวจอากาศชั้นบนที่ส่งให้กับ WMO ซึ่งนับว่าต่ำกว่าความต้องการของเกณฑ์ต่ำสุดของ WMO อีกสาเหตุหนึ่งที่เป็นเหตุของการสูญเสียการรายงานข้อมูลลมในระดับต่ำ (gradient wind) จากสาธารณรัฐประชาชนจีนและประเทศคอมมิวนิสต์อื่น ๆ ที่อยู่ในแถบด้านตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิก การวิเคราะห์ในระดับต่ำ (gradient level) เหนือบริเวณด้านตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิก เป็นแนวทางปฏิบัติที่เป็นมาตรฐาน (standard practice) ที่ใช้กับทุกหน่วย ๆ ข่าวกาศที่สังกัดกองบิน 1 (USAF) (1st Weather Wing units) มาเป็นเวลาหลายปี อย่างไรก็ตามปัจจุบันการวิเคราะห์ร่วมกันของผิวพื้น ระดับ gradient และลมที่ระดับ 850 hPa ทำได้สมบูรณ์แบบเฉพาะหน่วยที่เป็นส่วนกลาง (centralized units) ข้อมูลดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาใช้เป็นเครื่องช่วยเติมเต็มในส่วนที่เป็นช่องว่างของข้อมูลการตรวจที่ขาดหายไป และเป็นข้อมูลที่ใช้ในการระบุสนามลมซึ่งกำลังเป็นที่นิยมใช้กันเพิ่มมากขึ้นทุกวัน ด้วยการผสมผสานระหว่างข้อมูลผลการตรวจอากาศชั้นบนและข้อมูลจากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาตามเวลาที่กำหนดนักพยากรณ์อากาศเขตร้อนจึงมีจุดเริ่มต้นที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ที่เป็นไปอย่างมีความหมาย

อย่างไรก็ตามข้อมูลยังไม่หนาแน่นมากพอถ้าเปรียบเทียบกับมาตรฐานในเขตอบอุ่น ดังนั้น เมื่อดำเนินการวิเคราะห์เส้นลายกระแสและเส้นความเร็วลมเท่ารูปแบบของ Model จึงมีความจำเป็น เมื่อทำการวิเคราะห์ในพื้นที่ที่มีข้อมูลหนาแน่นรูปแบบของ Model ควรใช้เพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ แต่ในบริเวณที่มีความหนาแน่นน้อยควรนำรูปแบบของ Model มาใช้และปรับแก้รูปแบบของ Model ในแต่ละส่วนให้เป็นไปตามข้อมูลลมที่พบ (ถ้ามี)

2. รูปแบบพื้นฐานในระดับต่ำ (Basic low level pattern)

โดยปกติแล้วนักพยากรณ์อากาศในเขตร้อนจะเกี่ยวข้องกับพื้นที่ที่อยู่ระหว่างลมฝ่ายตะวันตกแถบละติจูดกลางทั้งสองซีกโลก โดยเฉพาะรูปแบบในช่วงเปลี่ยนฤดูในพื้นที่ดังกล่าวแสดงดังรูปภาพที่ 3-1 กรณีที่ Trough กำลังแรง (active trough) แสดงทั้งสองซีกโลก ซึ่งเหล่านี้เป็นรูปแบบเฉพาะที่มักเกิดขึ้นในมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันตก/มหาสมุทรอินเดียตะวันออก ระหว่างช่วงฤดูใบไม้ผลิ (มีนาคม) และฤดูใบไม้ร่วง (กันยายน) มากกว่าช่วงอื่น ๆ และหรือพื้นที่อื่น ๆ ในขณะที่ Subtropical ridge (STR) ส่วนใหญ่คงอยู่และแผ่ปกคลุมเป็นบริเวณกว้าง และจะเคลื่อนไกลออกไปทางขั้วโลกในช่วงฤดูร้อน

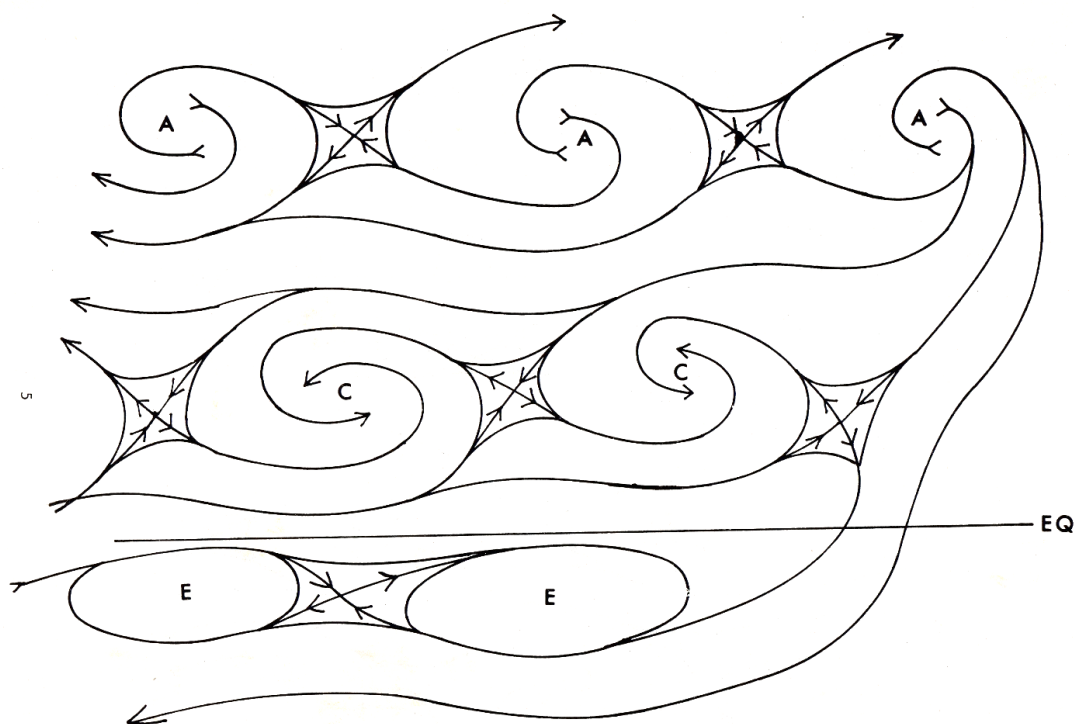


รูปที่ 3-1 รูปแบบของเส้นลายกระแสในระดับต่ำ

3. รูปแบบของ Equatorial trough กำลังแรง (Active equatorial trough pattern)

รูปที่ 3-2 อธิบายรูปแบบของ Equatorial trough กำลังแรง ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับรูปที่ 3-1 เพียงแต่ว่า Equatorial trough มีกำลังแรง เงื่อนไขดังกล่าวส่วนใหญ่เป็นรูปแบบที่เกิดขึ้นมหาสมุทรแปซิฟิกตอนกลางและมหาสมุทรแอตแลนติกตอนกลางในช่วงฤดูร้อนของซีกโลกเหนือ ลมที่พัดประจำ (prevailing wind) มาจาก Subtropical Ridge ในซีกโลกเหนือ ซึ่งเป็นลมทิศตะวันออกเฉียงเหนือพัดมาบรรจบกับลมฝ่ายตะวันออกในเขตร้อนจากซีกโลกใต้ ลมที่พัดอยู่ตอนใต้ของ Equatorial trough เป็นลมฝ่ายตะวันตก

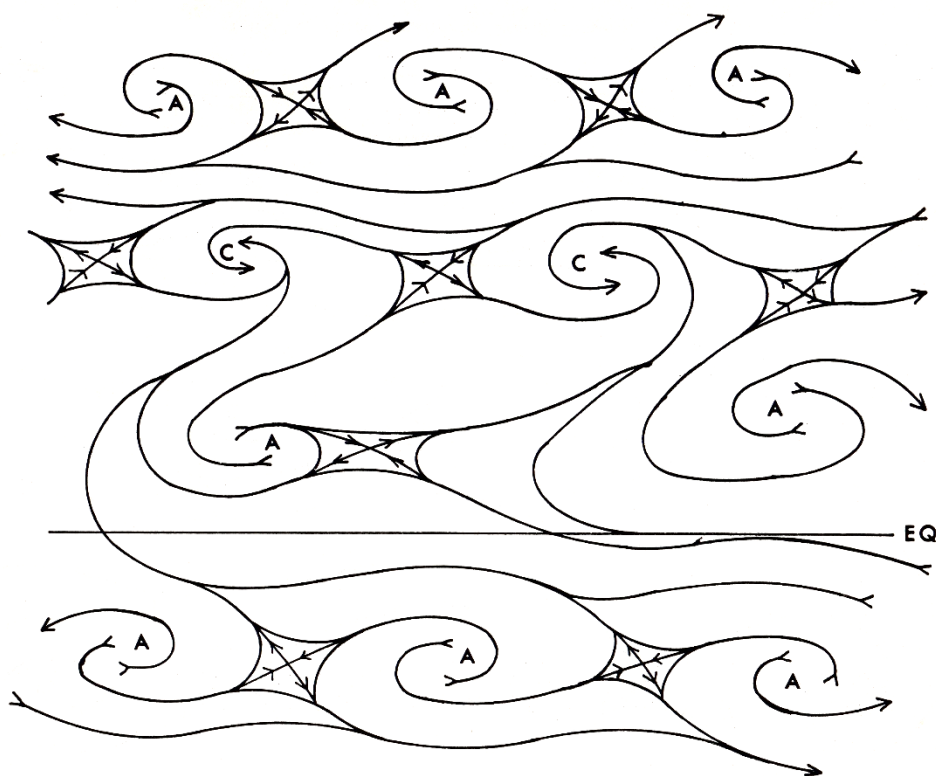
ทิศทางที่ตรงข้ามกันของลมฝ่ายตะวันตกแถบศูนย์สูตร (Equatorial westerlies) กับลมทิศตะวันออกเฉียงเหนือจากซีกโลกเหนือก่อให้เกิดกระแสลมวน (addy) แบบไซโคลนทางตอนใต้ของเส้นศูนย์สูตรเล็กน้อยซึ่งหมายถึง Equatorial trough กำลังอ่อน (inactive equatorial trough)



รูปที่ 3-2 รูปแบบร่องมรสุม (Equatorial Trough) กำลังแรง (active)

3. รูปแบบของ Monsoon trough

ในช่วงกลางเดือนพฤษภาคมถึงประมาณต้นเดือนตุลาคมเหนือน่านน้ำมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันตกจะปรากฏรูปแบบพิเศษที่เรียกว่า monsoon trough (แสดงดังรูปที่ 3-3) ภายใต้อิทธิพลของความร้อนของภาคพื้นทวีป โดยที่ Subtropical ridge และ Equatorial trough เคลื่อนที่ไกลขึ้นไปทางเหนือพร้อมกับการเปลี่ยนรูปแบบของ Equatorial trough เรียกว่า monsoon trough ลมทิศตะวันออกเฉียงใต้ที่พัดมาจาก Subtropical ridge ในซีกโลกใต้ข้ามเส้นศูนย์สูตรเนื่องจากอิทธิพลของแรงคอริโอลิสทำให้ลมทิศตะวันออกเฉียงใต้เบี่ยงเบนเป็นลมทิศตะวันตกเฉียงใต้เหนี่ยวนำทำให้เกิดรูปแบบของ ridge ขึ้นระหว่าง monsoon trough ในซีกโลกเหนือกับ Subtropical ridge จากซีกโลกใต้ ridge แนวที่สอง (secondary ridge) นี้ Sadler เรียกว่า buffer ridge และลมทิศตะวันตกเฉียงใต้ เรียกว่า มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (Southwest monsoon) โดยทั่วไปแกนของ ridge จะล้อมรอบมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ แกนของ ridge เหล่านี้เอียงเข้าหากันตามความสูงและบีบมรสุมให้หมดไปในที่สุด ณ ระดับใดระดับหนึ่งระหว่าง 300 – 500 มิลลิบาร์



รูปที่ 3-3 รูปแบบของ Monsoon trough

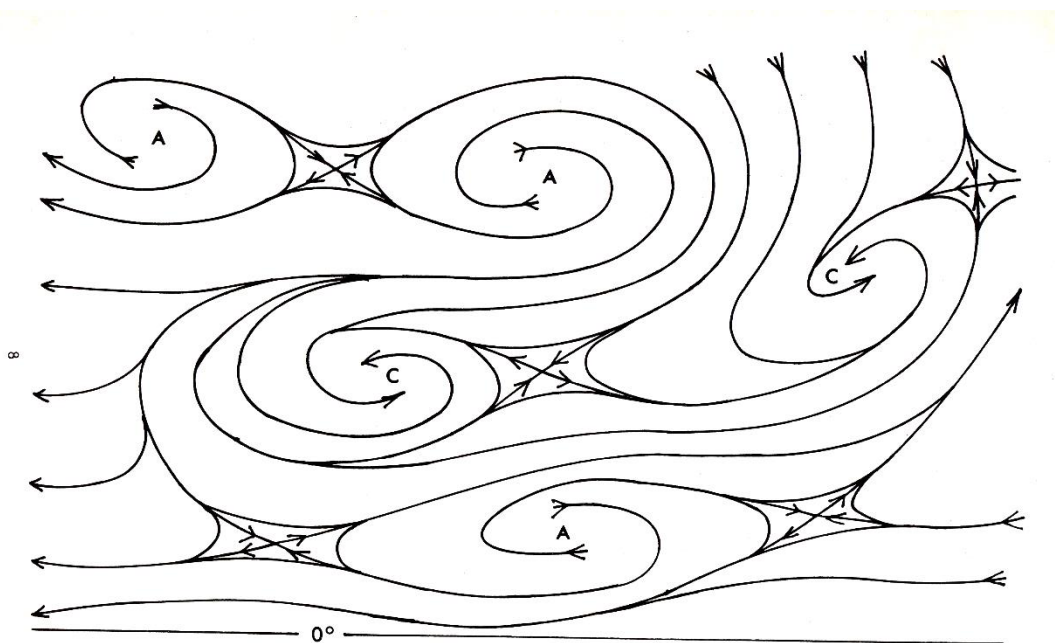
4. รูปแบบของร่องความกดอากาศต่ำในระดับบน (Tropical upper tropospheric trough (TUTT))

Sadler ได้เขียนเกี่ยวกับ TUTT หลายครั้ง โดยกล่าวว่า TUTT มีลักษณะเป็นร่องความกดอากาศต่ำของอากาศเย็น (cold trough) ที่แผ่ขยายลงมาจากแถบละติจูดกลางสู่เขตร้อน โดยในส่วนของเขตร้อนพบได้บ่อยครั้งว่าวางตัวขนานกับแนวทิศตะวันออก-ตะวันตกและอยู่ทางแถบศูนย์สูตรของ Subtropical ridge

TUTT ที่สำคัญมี 3 แห่ง คือ ตอนกลางมหาสมุทรแปซิฟิก (Mid Pacific Trough (MPT), ตอนกลางของมหาสมุทรแอตแลนติก (Mid Atlantic Trough (MAT) และ Trough ในซีกโลกใต้ที่เป็นแนวผ่านเหนือตอนใต้ของมหาสมุทรแปซิฟิกจากด้านตะวันออกของนิวซีแลนด์ไปยังนิวกินีโดยประมาณ TUTT พบได้เฉพาะซีกโลกที่เป็นฤดูร้อน

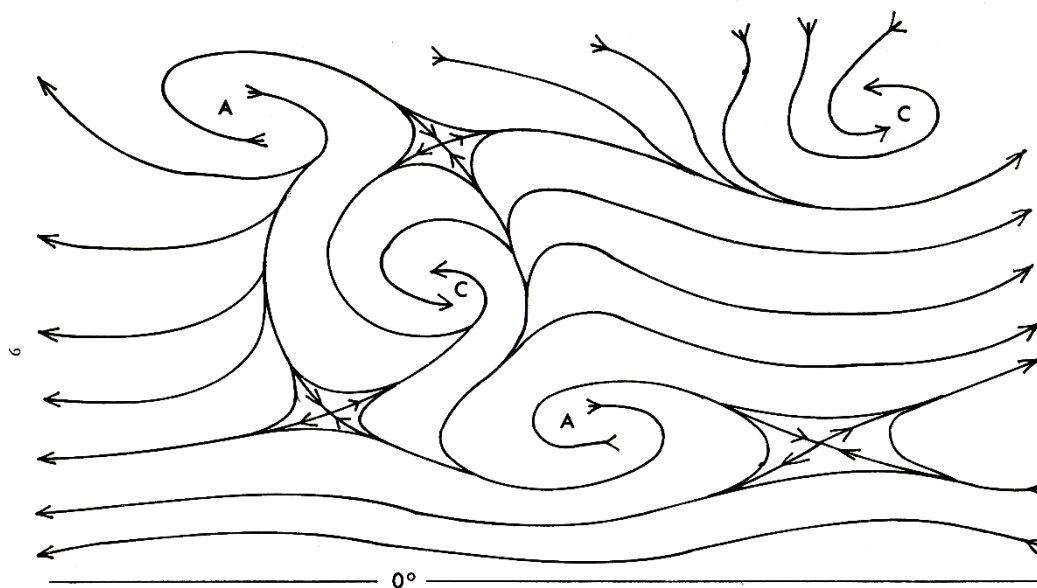
MPT จะมีขนาดกว้างและมีความรุนแรงมากที่สุด และมีคุณลักษณะที่ค่อนข้างจะแตกต่างจากร่องความกดอากาศต่ำในระดับบนอื่น ๆ ก่อให้เกิดปัญหาอย่างมากในการวิเคราะห์และพยากรณ์

TUTT เป็นผลจากการเคลื่อนที่ขึ้นไปทางเหนือของบริเวณปลายสุดด้านตะวันตกของ subtropical ridge เหนือพื้นทวีปที่ร้อนจัดในช่วงฤดูร้อน ในขณะที่ ridge เหนือน่านน้ำมหาสมุทรตอนกลางยังคงอยู่ไกลออกไปทางใต้อย่างมาก (แสดงดังรูปที่ 3-4) ก่อให้เกิดการเหนียวน้ำและปรากฏเป็น Trough ขึ้น เรียกว่า TUTT พบได้อย่างเด่นชัดที่ระดับ 150 – 250 มิลลิบาร์ แต่บางครั้งอาจจมลงมาถึงระดับ 500 มิลลิบาร์



รูปที่ 3-4 รูปแบบของ Tropical Upper Tropospheric Trough (TUTT) ในซีกโลกเหนือ

ข้อมูลดาวเทียมมีส่วนช่วยในการวิเคราะห์ TUTT ได้อย่างชัดเจน เนื่องจากหย่อมความกดอากาศต่ำใน TUTT มีลักษณะสำคัญ โดยจะสังเกตเห็นเมฆคิวโมโลนิมบัสแยกเป็นก้อนเดี่ยว ๆ รายรอบบริเวณขอบของหย่อมความกดอากาศต่ำ จากการที่ตัวของหย่อมความกดอากาศต่ำเองนั้นมีลักษณะเป็น Cyclonic in draft ในระดับบนชนิดที่มีศูนย์กลางเย็น (cold cyclonic indraft aloft) ดังนั้นจึงก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ลงในแนวตั้ง (downward vertical motion) และอากาศแจ่มใสบริเวณศูนย์กลางของหย่อมความกดอากาศต่ำ เมฆคิวโมโลนิมบัสที่อยู่รายรอบหย่อมความกดอากาศต่ำนั้นสะท้อนให้เห็นถึงทิศทางของลมชั้นบนโดยที่จะวางตัวตามแนวของเมฆ Cirrus ที่ถูกพัดพาออกไปตามลม ในขณะที่หย่อมความกดอากาศต่ำระดับบนพัฒนาตัวเพิ่มมากขึ้น กลุ่มเมฆที่พบจะเพิ่มขึ้นทางด้านตะวันออกของควอดรันท์แถบศูนย์สูตร (east equatorward quadrant) ของหย่อมความกดอากาศต่ำ ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการกระจายออก (difluence) ระดับบนแรงที่สุด รูปที่ 3-5 แสดง TUTT ที่มีการกระจายออก (difluence) เพิ่มขึ้นทางด้านตะวันออกเฉียงใต้ของหย่อมความกดอากาศต่ำ นอกจากนี้ TUTT สามารถเหนียวน้ำทำให้เกิดพายุหมุนเขตร้อนเหนือน่านน้ำในระดับต่ำได้ (รายละเอียดศึกษาเพิ่มเติมในหนังสืออุตุนิยมวิทยา เล่ม 3 : อุตุนิยมวิทยาเขตร้อน)

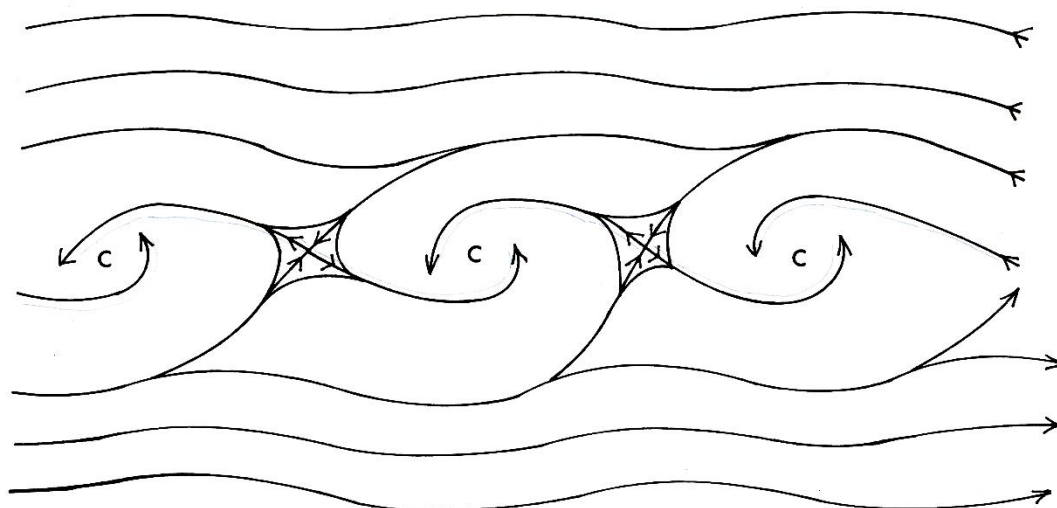


รูปที่ 3-5 รูปแบบของ TUTT ในลักษณะของ Cut off low ในซีกโลกเหนือ

5. รูปแบบการหมุนวนแบบปิดของ Trough (Closed circulations within a trough)

การหมุนวนแบบปิดของ monsoon trough หรือ TUTT, Equatorial trough หรือ frontal trough ควรเชื่อมต่อกันโดยผ่าน neutral points โดยมีแกน convergent asymptotes (แสดงดังรูปที่ 3-6) ข้อมูลดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาดูเหมือนจะบ่งชี้ถึงลักษณะดังกล่าวนี้เป็นเรื่องปกติ เช่น บริเวณการเชื่อมต่อกันของแนวเมฆคิวโมโลนิมบัสที่วางแนวเข้าสู่ศูนย์กลางของพายุหมุนเขตร้อน หรือเรียกว่า feeder band ที่อยู่ระหว่างพายุหมุนเขตร้อนสองลูกที่เกิดอยู่ใน equatorial trough ทางด้านตะวันออกของมหาสมุทรแปซิฟิกเหนือ ซึ่ง neutral point จะวางอยู่ตรงบริเวณที่ feeder band แยกออกจากกัน

ในช่วงเวลาหนึ่งเมื่อหย่อมความกดอากาศต่ำตัดขาด (cut off) ออกจากร่องความกดอากาศต่ำที่เป็นกระแสหลัก (main trough) และเคลื่อนออกมาด้วยตัวเอง จะยังคงแสดงให้เห็นการเกิดร่วมกันของ neutral point ที่เชื่อมต่อกับแกน (asymptote) กับแกนคอนเวอร์เจนซ์อีกอันหนึ่งที่อยู่ในกระแสหลัก (main flow) ที่พัดเข้าสู่หย่อมความกดอากาศต่ำนั้น



รูปที่ 3-6 ร่องความกดอากาศต่ำ (Trough) ในซีกโลกเหนือ

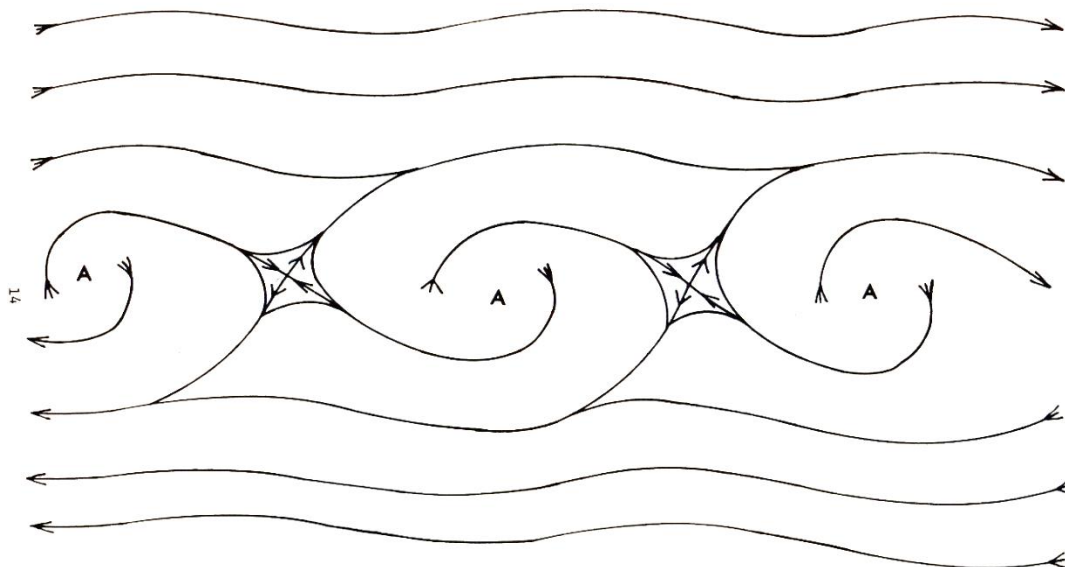
จากรูปที่ 3-6 แสดงตัวอย่างรูปแบบที่พบได้ในระบบของ TUTT ในซีกโลกเหนือ หรือในส่วนของตอนเหนือร่องความกดอากาศต่ำแถบศูนย์สูตร (Northern Equatorial Trough) ที่อยู่เหนือระดับเสียดทาน (Friction layer) อาจมีการเปลี่ยนรูปและแตกต่างออกไปจากรูปแบบดังแสดงได้บ้างในระดับต่ำที่อยู่ใกล้กับผิวพื้นโลก

6. รูปแบบการหมุนวนแบบปิดของ Ridge (Closed circulations within a Ridge)

ตามปกติศูนย์กลางการหมุนวนแบบปิดของ Subtropical ridge เชื่อมต่อกันด้วย divergent asymptotes ผ่าน neutral point (แสดงดังรูปที่ 3-7) บางครั้งอาจพบศูนย์กลางความกดอากาศ 2 ตัวหรือมากกว่า อยู่ภายในบริเวณความกดอากาศสูงที่ปกคลุมเป็นบริเวณกว้างซึ่งในความเป็นจริงของสนามลมอาจเกิดขึ้นได้ ในกรณีนี้ถ้าการวิเคราะห์ในระบบ Synoptic scale หรือ macro scale ทำได้อย่างสมบูรณ์แล้วการวิเคราะห์สนามลมควรวิเคราะห์เฉพาะระบบหมุนวนหลัก ๆ เท่านั้นเพื่อไม่เป็นการเสียเวลาที่ต้องวิเคราะห์ศูนย์กลางขนาดเล็กในทุก ๆ ที่ ๆ ปรากฏ อย่างไรก็ตามถ้าหากเป็นการวิเคราะห์ในพื้นที่หนึ่ง (local area) ระบบของศูนย์กลางขนาดเล็กเหล่านี้มีความสำคัญอย่างมาก โดยต้องมีแกน convergent asymptote ผ่านทุกจุดของ neutral point ดังนั้นระหว่างศูนย์กลางของการหมุนเวียนแบบ high สองตัวไม่ว่าจะเล็กเท่าใดก็ตาม ซึ่งอาจมีความสำคัญอย่างมากต่อการพยากรณ์พื้นที่เป้าหมาย

กล่าวโดยสรุป เมื่อทำการวิเคราะห์ระบบ ridge ขนาดใหญ่ให้พิจารณา scale ที่เราต้องการวิเคราะห์เป็นลำดับแรก ไม่เช่นนั้นเราอาจจะพบความยุ่งยากในการพยายามวิเคราะห์ให้สอดคล้องกับทุก ๆ ข้อมูลที่ปรากฏและอาจทำให้สูญเสียการมองเห็นภาพการหมุนเวียนขนาดใหญ่ขึ้นได้ นี่คือความจริงที่ต้องนำมา

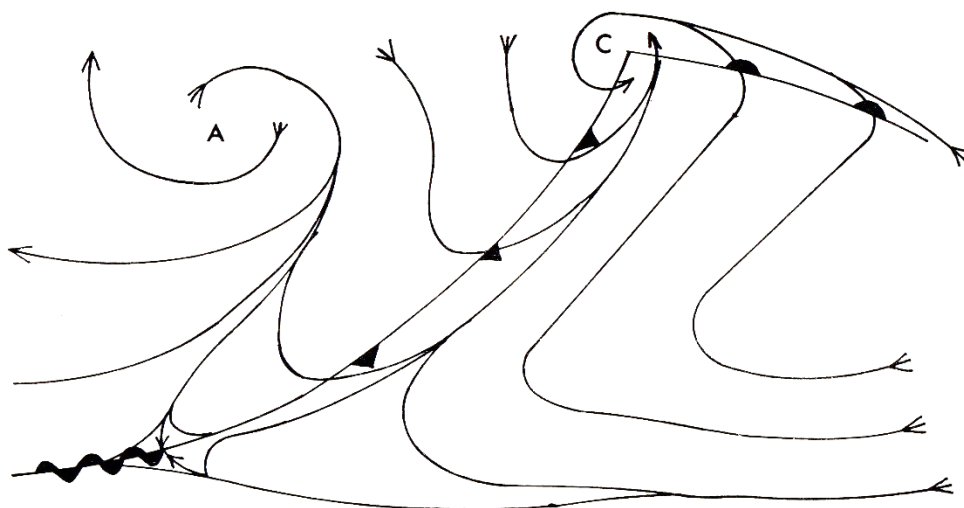
พิจารณาในการวิเคราะห์ทุกครั้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบ high ขนาดใหญ่มักประกอบด้วยศูนย์กลางขนาดเล็กเป็นจำนวนมาก



รูปที่ 3-7 ล้อมความกดอากาศสูง (Ridge) ในซีกโลกเหนือ

7. รูปแบบแนวปะทะอากาศ

7.1 รูปแบบพื้นฐานของแนวปะทะอากาศในระดับต่ำ (Basic low level frontal pattern) รูปแบบของเส้นลายกระแสในระดับต่ำที่เกี่ยวข้องกับแนวปะทะอากาศ (รูปที่ 3-8) เส้นลายกระแสและแนวปะทะอากาศที่อธิบายถึงนั้นอยู่ที่ระดับ gradient (1,000 เมตร) รูปแบบการไหลของลมที่ระดับผิวพื้นจนถึงระดับ 850 มิลลิบาร์มีความคล้ายคลึงกัน เว้นแต่เป็นระบบแนวปะทะอากาศที่ตื้น ๆ (shallow frontal system) และบริเวณที่ถูกรบกวนจากลักษณะภูมิประเทศ



รูปที่ 3-8 รูปแบบพื้นฐานของแนวปะทะอากาศในระดับต่ำ (Basic low level frontal pattern)

ตำแหน่งของแกน (Asymptote position)

แกน convergent อยู่ด้านหน้าสุดของแนวปะทะอากาศ โดยระยะห่างระหว่างแกนและแนวปะทะขึ้นอยู่กับความเร็วในการเคลื่อนที่ของแนวปะทะอากาศ

ตำแหน่งของแนวปะทะอากาศ (Front location)

แนวปะทะอากาศเย็นแบบ Active และแนวปะทะอากาศอุ่นจะวางอยู่ระหว่างแกน convergent และเส้นลายกระแสที่เป็นร่องความกดอากาศต่ำ (streamline trough)

ตำแหน่งของจุดเป็นกลาง (neutral point)

Neutral point เกิดขึ้นตามแนวของแนวปะทะอากาศตรงบริเวณที่มีความหมายถึงการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ กล่าวคือแนวปะทะอากาศเย็นกำลังอ่อนขึ้น หรือแนวปะทะอากาศเย็นกำลังจะเปลี่ยนเป็นแนวปะทะอากาศแบบคงที่ (stationary front) หรือ แนวปะทะอากาศเย็นแบบ active กำลังจะเปลี่ยนเป็น inactive

แนวปะทะอากาศแบบไม่เคลื่อนที่ (Stationary front)

โดยปกติแนวปะทะอากาศแบบไม่เคลื่อนที่จะไม่มีความสัมพันธ์กับเส้นลายกระแสที่เป็นร่องความกดอากาศต่ำ ควรวางแกน convergent ตามแนวปะทะอากาศ

7.2 แนวปะทะอากาศที่มีลักษณะเป็นแนวยาวเชื่อมต่อกัน (Frontal wave train)

แนวปะทะอากาศที่มีลักษณะเป็นแนวยาวเชื่อมต่อกัน (รูปที่ 3-9) แกน convergent วางตามแนวยาวเชื่อมต่อกันไปจาก unstable wave ไปยัง stable wave จนถึงแนวปะทะอากาศปิด



รูปที่ 3-9 แนวปะทะอากาศที่มีลักษณะเป็นแนวยาวเชื่อมต่อกันในระดับต่ำ (Low level frontal wave train)

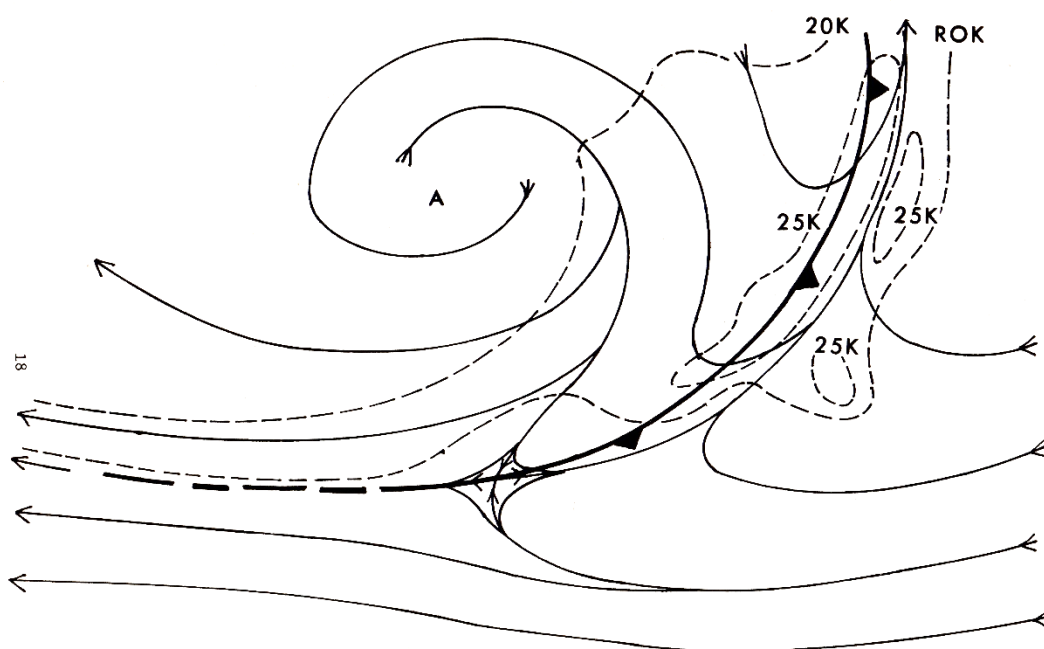
หมายเหตุ

Unstable wave: รูปแบบของคลื่นที่เกิดตามขึ้นในแนวปะทะอากาศแถบขั้วโลก (Polar front) ความกว้างของคลื่น (amplitude) เพิ่มขึ้นตลอดเวลาจนกระทั่งถึงกระบวนการเกิดเป็นแนวปะทะอากาศปิด

Stable wave: รูปแบบของคลื่นในแนวปะทะอากาศที่ไม่มีความรุนแรงมากจนถึงขั้นเป็นแนวปะทะอากาศปิด ความกว้างของคลื่นน้อยกว่า และศูนย์กลางของความกดอากาศต่ำมีกำลังอ่อน

7.3 แนวปะทะอากาศในเขตร้อน (Fronts in the tropics)

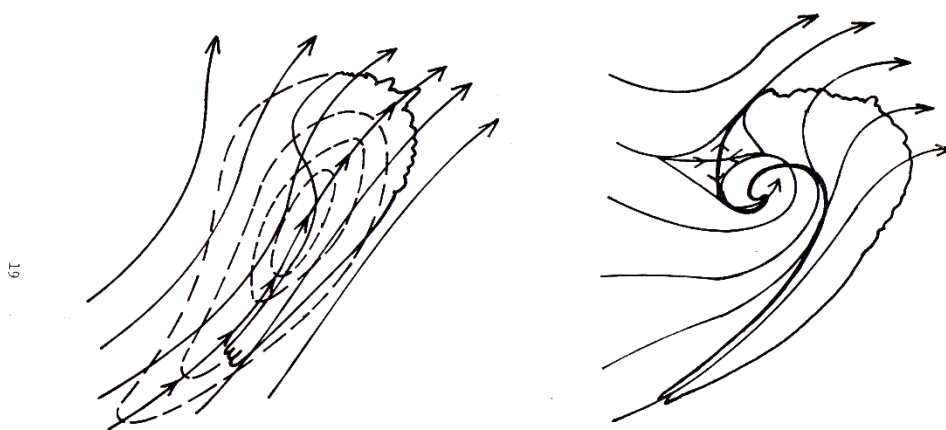
แนวปะทะอากาศบางครั้งแผ่เข้ามาในเขตร้อน ทันทีที่เข้ามาจะเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติอย่างรวดเร็ว และบ่อยครั้งที่จะสิ้นสุดลงและเหลือไว้เพียง cyclonic shear ในสนามความเร็วลมระดับต่ำ (low level windspeed field) เท่านั้น ในรูปแบบดังกล่าวนี้เราควรจัดเป็น shear line (รูปที่ 3-10) ในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนมีนาคมบริเวณเกาะกวมและหมู่เกาะในอาณานิคม (USA) ได้รับผลกระทบจาก shear line เนื่องจากแนวปะทะกำลังอ่อนจึงยากที่จะทำการวิเคราะห์และพยากรณ์ด้วยเหตุที่ขาดการสนับสนุนจากระดับบน และส่วนใหญ่ระบบได้รับสนับสนุนเนื่องจากความร้อน ดังนั้นนักพยากรณ์อากาศจำเป็นต้องเฝ้าดูข้อมูลผิวพื้นและข้อมูลดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาอย่างใกล้ชิด



รูปที่ 3-10 แนวปะทะอากาศเย็นแผ่ล้าเข้ามาในเขตร้อนเปลี่ยนแปลงสมบัติและรูปแบบเป็นเชียร์ไลน์

8. รูปแบบ Comma cloud (Comma cloud patterns)

รูปที่ 3-11(ก) และ 3-11(ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบ Comma cloud และลมที่ระดับยอดเมฆ ในรูปที่ 3-11(ก) แสดงความสัมพันธ์เฉพาะรูปแบบ comma ในช่วงแรก (young comma) ลูกศรหนา ๆ แสดงแกนของลมแรงสูงสุดที่ระดับยอดเมฆ (axis of maximum cloud top level winds) เส้นประคือเส้นความเร็วลมเท่า (isotachs) ซึ่งพบว่าลมแรงที่สุดวางไปตามแนวแกนที่อยู่ทางด้านต้นลมจาก comma head และ ขอบเมฆบริเวณ surge region โดยส่วนของ comma head อยู่บริเวณด้านซ้ายของแกนลมแรงสูงสุด ขณะที่ comma tail ขนานกับแกนลมแรงสูงสุด บริเวณขอบของหาง (tail) อยู่ทางด้านขวาของแกนลมแรงสูงสุด ความเร็วอาจเพิ่มขึ้นตามส่วนสูงครอบคลุม 3 มิติจนถึงระดับยอดเมฆ แกนลมแรงสูงสุดของกระแสลมกรดในระดับบนอาจไม่มีความสัมพันธ์กับ comma tail ในระดับต่ำก็ได้ สำหรับรูปที่ 3-11(ข) นำเสนอรูปแบบที่เกี่ยวข้องกับ comma cloud ในขั้นเจริญเติบโต (mature comma)



รูปที่ 3-11 Comma cloud ในขั้นแรก (Young comma) (ก) และในขั้นเจริญเติบโต (Mature comma) (ข)

หมายเหตุ

ในทางปฏิบัติการวิเคราะห์เส้นลายกระแสและเส้นความเร็วลมเท่าในรูปแบบของแนวปะทะอากาศและ Comma cloud กองข่าวอากาศ คปอ. ไม่ได้ทำการวิเคราะห์ในลักษณะดังกล่าว แต่ทำการวิเคราะห์แนวปะทะอากาศเฉพาะในแผนที่อากาศผิวพื้นเท่านั้น อย่างไรก็ตามเจ้าหน้าที่ที่ทำหน้าที่ในการวิเคราะห์ลมชั้นบนสามารถที่จะนำรูปแบบจำลองดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ได้

บทที่ 4

การวิเคราะห์เส้นลายกระแสบริเวณพายุหมุนเขตร้อนและกระแสลมกรด (Tropical cyclone and Jet stream streamline analysis)

1. กล่าวนำ

พายุหมุนเขตร้อนเป็นตัวการสำคัญที่ก่อให้เกิดสภาพอากาศรุนแรงในเขตร้อน มีลักษณะโครงสร้างเฉพาะตัวทั้งในแนวระนาบ/แนวตั้งและในบรรยากาศระดับบนและระดับต่ำ แม้ว่าการพยากรณ์พายุหมุนเขตร้อนค่อนข้างจะเป็นเรื่องของศูนย์พยากรณ์และติดตามพายุหมุนเขตร้อนอย่างมาก เช่น ศูนย์ได้ฟู้นแห่งนครโตเกียว (Tokyo Center) ของประเทศญี่ปุ่นซึ่งมีหน้าที่รับผิดชอบในการเฝ้าระวังและแจ้งเตือนพายุหมุนเขตร้อนในภูมิภาคแปซิฟิกตะวันตก แต่นักอุตุนิยมวิทยาต้องทำความเข้าใจกับลักษณะที่โดดเด่นของพายุหมุนเขตร้อนกำลังแรง เพื่อที่จะได้แปลความได้อย่างถูกต้องและประยุกต์ใช้คำพยากรณ์เหล่านี้ไปสู่พื้นที่เป้าหมายและเงื่อนไขของสภาพอากาศเฉพาะถิ่นนั้น รายละเอียดของผลการตรวจสภาพอากาศโดยเฉพาะที่ได้รับจากการลาดตระเวนถ่ายภาพทางอากาศ อธิบายรายละเอียดของโครงสร้างพายุหมุนเขตร้อนได้เป็นอย่างดี เช่นเดียวกับภาพดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาก็ให้รายละเอียดที่มีนัยสำคัญอย่างมาก ณ ที่นี้จะใช้เอกสารผลสำรวจอันยอดเยี่ยมของ Miller (1967) ในการอธิบายถึงคุณลักษณะของลม อุณหภูมิและการกระจายของเมฆในพายุหมุนเขตร้อน ซึ่งพายุหมุนเขตร้อนเกิดขึ้น ณ ที่ใดก็ตามจะมีลักษณะโครงสร้างที่คล้ายคลึงกัน ณ ที่นี้ขอกล่าวเฉพาะคุณลักษณะของลมเท่านั้น

สำหรับกระแสลมกรดส่วนใหญ่เป็นปรากฏการณ์ในบรรยากาศระดับบน ยกเว้นกระแสลมกรดในระดับต่ำซึ่งส่วนใหญ่มักเกิดขึ้นเฉพาะถิ่น กระแสลมกรดในบรรยากาศระดับบนประกอบด้วยกระแสลมกรดแถบขั้วโลก (Polar front Jet) กระแสลมกรดกึ่งเขตร้อน (Subtropical Jet) และกระแสลมกรดฝ่ายตะวันออกในเขตร้อน (Tropical Easterly jet) ถึงแม้ว่ากระแสลมกรดในเขตร้อนจะพบได้เป็นบางฤดู แต่นักอุตุนิยมวิทยาจำเป็นต้องวิเคราะห์และติดตามกระแสลมกรด เพราะอาจก่อให้เกิดสภาพอากาศรุนแรง เช่น การก่อตัวของพายุหมุนเขตร้อน การแผ่ลงมาปกคลุมของมวลอากาศเย็น การเกิดพายุฤดูร้อน รวมทั้งก่อให้เกิดการปั่นป่วนในลมค้าในบรรยากาศระดับต่ำซึ่งก่อให้เกิดคลื่นกระแสลมตะวันออกอันทำให้เกิดฝนตกหนักถึงหนักมากบางพื้นที่ได้ การวิเคราะห์เส้นลายกระแสในบริเวณกระแสลมกรดไม่มีความซับซ้อนมากนัก แต่การวิเคราะห์เส้นความเร็วลมเท่า (isotach) จะมีลักษณะเฉพาะ ดังนั้นจึงควรที่จะศึกษาทำความเข้าใจ

2. โครงสร้างพายุหมุนเขตร้อนในชั้นเจริญเติบโตเต็มที่ (Structure of mature tropical cyclones)

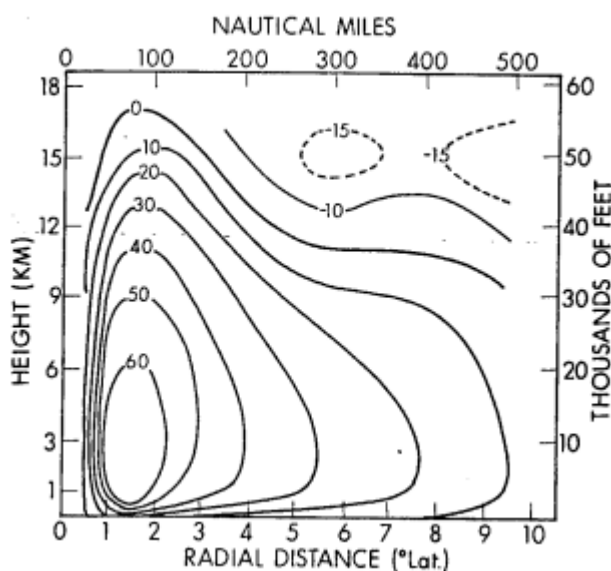
การหมุนเวียนของพายุในระดับต่ำประกอบด้วยสามพื้นที่ที่แตกต่างกัน

1. พื้นที่บริเวณรอบนอก (outer) คือบริเวณพื้นที่โดยรอบที่ต่อออกมาจากเขตลมแรง โดยลมจะพัดเข้าสู่ศูนย์กลาง

2. บริเวณความเร็วลมสูงสุดรอบ ๆ ตาพายุที่มีลักษณะเป็นวงแหวน ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่โดดเด่นอย่างมากของพายุหมุนเขตร้อนในชั้นเจริญเติบโตเต็มที่ มีความกว้างประมาณ 5 – 10 ไมล์ทะเล (10 – 20 กิโลเมตร) เกิดร่วมกับกำแพงเมฆ (wall clouds) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการยกตัวอย่างรุนแรงและมีฝนตกหนักมากที่สุดของพายุหมุนเขตร้อน

3. บริเวณตาพายุ (eye) เป็นพื้นที่ส่วนในสุด ความเร็วลมลดลงอย่างรวดเร็วจนถึงศูนย์กลางของตาพายุ กำหนดด้วยรัศมีของเมฆรอบตาพายุ (eye wall cloud) ตาพายุขนาดเล็กที่สุดกว้างประมาณ 3 ไมล์ทะเล (6 กิโลเมตร) จนถึงขนาด 100 ไมล์ทะเล (185 กิโลเมตร)

Izawa (1964) ได้จัดทำแบบจำลององค์ประกอบการหมุนเวียนของพายุใต้ฝุ่นในมหาสมุทรแปซิฟิก โดยอ้างอิงจากพายุจำนวน 14 ลูกที่เคลื่อนเข้าใกล้ประเทศญี่ปุ่น องค์ประกอบของภาพตัดขวางค่าเฉลี่ยความเร็วลมสัมพันธ์แสดงในรูปภาพที่ 4-1 โดยที่ระหว่างผิวพื้นจนถึงระดับความสูง 3,000 ฟุต (1 กิโลเมตร) พบว่าความเร็วลมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่ระหว่างระดับความสูง 3,000 – 20,000 ฟุต (1 – 6 กม.) มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วเพียงเล็กน้อย Izawa ให้เหตุผลว่าลมผิวพื้นในระดับต่ำได้รับผลจากแรงเสียดทาน ทั้งนี้ข้อมูลของเขาเก็บรวบรวมจากสถานีที่อยู่ใกล้ชายฝั่งและบนเกาะขนาดใหญ่



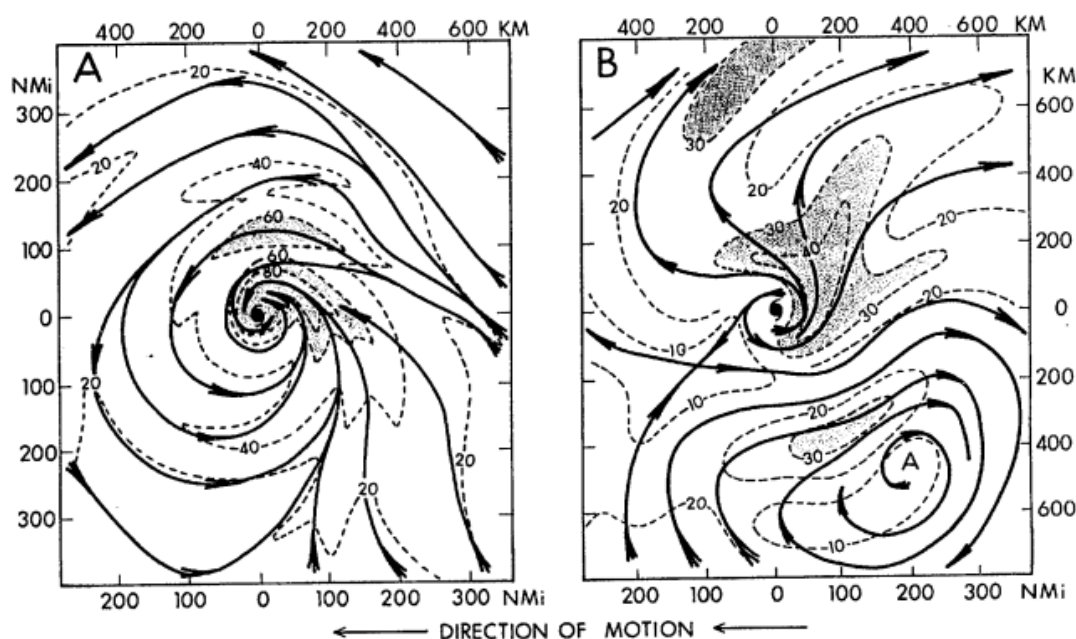
รูปที่ 4-1 ภาพตัดขวางรัศมีในแนวตั้ง (Vertical radial cross section) ของค่าเฉลี่ยความเร็วสัมพันธ์ (นอต) ของพายุใต้ฝุ่น

จากรูปที่ 4-1 แสดงภาพตัดขวางรัศมีในแนวตั้งของค่าความเร็วสัมผัสเฉลี่ย (นอต) ของพายุไต้ฝุ่นแปซิฟิก 14 ลูก ค่าบวกแทนการไหลเวียนของไซโคลน ค่าลบแทนการไหลเวียนของแอนติไซโคลน

ในน่านน้ำมหาสมุทรความเร็วเพิ่มขึ้นตามความสูงเหนือระดับผิวพื้นค่อนข้างน้อย โดยทั่วไปพายุไต้ฝุ่นในมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันตกมีขนาดใหญ่กว่าเฮอริเคนในมหาสมุทรแอตแลนติก ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับพายุหมุนเขตร้อน (Tropical cyclone advisories) ในมหาสมุทรแอตแลนติกเหนือและมหาสมุทรแปซิฟิกเหนือจะพิจารณาจากผลการตรวจและทำการพยากรณ์ภายในรัศมีความเร็วลม (sustained wind) 50 นอต รวมทั้งความเร็วลมสูงสุด (maximum sustained wind)

การหมุนเวียนของพายุหมุนเขตร้อนกำลังแรงนั้นแผ่ขยายขึ้นไปในแนวตั้งประมาณ 46,000 ถึง 49,000 ฟุต (14-15 กิโลเมตร) ใกล้กับโทรโปพอสในเขตร้อน แต่เนื่องจากเป็นไซโคลนที่มีศูนย์กลางอุ่น (warm core) ดังนั้น การหมุนเวียนแบบไซโคลนจึงอ่อนกำลังลงตามความสูง ดังแสดงในรูปที่ 4-1 ณ ที่ระดับความสูงประมาณ 20,000 ฟุต (6 กิโลเมตร) เซียร์ในทางตั้งกำลังอ่อน การหมุนเวียนอาจแบ่งออกเป็น 3 ชั้น กล่าวคือ

1. ชั้นอากาศไหลเข้า (inflow layer) เริ่มจากผิวพื้นถึงระดับความสูงประมาณ 10,000 ฟุต (3 กิโลเมตร) ส่วนประกอบที่สำคัญได้คือการเคลื่อนที่เข้าสู่ศูนย์กลางของพายุ ซึ่งการไหลเข้านี้ส่วนใหญ่จำกัดอยู่เฉพาะในระดับที่ต่ำกว่า 3,000 หรือเรียกว่า planetary boundary layer อย่างไรก็ตามองค์ประกอบของการหมุนเวียนของพายุหมุนเขตร้อนที่นำเสนอโดย Grey (1978) แสดงให้เห็นถึงการไหลเข้าสามารถแผ่ขึ้นไปได้ถึงระดับ 23,000 ฟุต (7 กิโลเมตร)



รูปที่ 4-2 การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ (Kinematic analyses)

จากรูปที่ 4-2 แสดงการหมุนเวียนของบรรยากาศระดับต่ำ (A) และบรรยากาศระดับบน (B) ของเฮอริเคน Donna ในวันที่ 10 ก.ย. 1960 พื้นที่เล็งมาเป็นบริเวณความเร็วสูงสุด (speed maxima)

2. ในชั้นกลางตั้งแต่ประมาณ 10,000 ถึง 25,000 ฟุต (3 ถึง 7.6 กม.) การไหลส่วนใหญ่จะเป็นแนวสัมผัส (mostly tangential) แม้ว่าเกรย์จะไม่เห็นด้วยก็ตาม

3. ชั้นอากาศไหลออกแผ่ขยายขึ้นไปจากระดับความสูง 25,000 ฟุต (7.6 กม.) ถึงบริเวณยอดของพายุซึ่งเป็นบริเวณที่อากาศไหลออกรุนแรงมากที่สุด

สำหรับพายุหมุนเขตร้อนในชั้นเจ็ทสตรีมโตเต็มที่ที่อยู่ใกล้กับระดับความสูง 39,000 ฟุต (12 กม.) รูปแบบการไหลเวียนในแนวระนาบของอากาศที่ไหลเข้าและไหลออกแสดงดังรูปที่ 4-2 โดยที่อากาศไหลเข้าในระดับต่ำจะเห็นได้เด่นชัดที่สุดบริเวณครึ่งวงกลม (semicircle) ทางด้านหลังของพายุ โดยทั่วไปความเร็วลมที่แรงที่สุดจะพบอยู่ทางด้านขวาของการเคลื่อนที่และในกำแพงเมฆรอบตาพายุ (eye wall)

การไหลออกในระดับโทรโปสเฟียร์ตอนบนจะเป็นแบบไซโคลนแต่ระบบการหมุนเวียนมีขนาดเล็กกว่าไซโคลนที่อยู่ใกล้ระดับผิวพื้นอย่างมากและล้อมรอบด้วยการหมุนเวียนแบบแอนตี้ไซโคลน (สอดคล้องกับค่าลบของลมสัมผัสที่แสดงในรูปที่ 4-1) ความเร็วลมสูงสุดและไดเวอร์เจนซ์ที่แรงที่สุดแผ่ขยายออกไปครึ่งวงกลมทางด้านขวาของพายุ รูปแบบดังกล่าวมักจะสะท้อนให้เห็นแนวของเมฆเซอร์รัสในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา รูปแบบของอากาศไหลออกขึ้นอยู่กับลมที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมและพลศาสตร์ (dynamics) ของระบบพายุเอง

น้อยครั้งมากที่ได้เคยมีการตรวจเหนือระดับความสูง 20,000 ฟุต (6 กม.) ในพื้นที่ตอนกลางของพายุหมุนเขตร้อนกำลังแรงที่การหมุนเวียนในบรรยากาศชั้นบนไม่เป็นไปตามดังแสดงในรูปที่ 4-1 และ 4-2 b

เมื่อวันที่ 17 กันยายน พ.ศ. 2533 เครื่องบินวิจัย DC-8 ของ NASA บินที่ความสูง 41,000 ฟุต (12.5 กม.) ผ่านซูเปอร์ไต้ฝุ่น “Flo” ที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ใกล้ 24 องศาเหนือ 129 องศาตะวันออก และกำลังเคลื่อนตัวไปทางเหนือด้วยความเร็ว 6 ถึง 8 นอต พร้อมกับการตรวจแบบ dropwindsonde บริเวณตาพายุบันทึกค่าความกดอากาศที่ผิวพื้นเท่ากับ 891 มิลลิบาร์ ความเร็วลมสูงสุดที่ผิวพื้นประมาณ 140 นอต ความเร็วลมสูงสุดที่ระดับบนในการบินตัดผ่าน 4 จุดในบริเวณกำแพงเมฆที่ล้อมรอบตาพายุเฉลี่ย 96 นอต ซึ่งลดลงตามความสูงน้อยกว่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบที่แสดงดังรูปที่ 4-1 และ 4-2 ถึงแม้ว่าความกดอากาศบริเวณตาพายุสูงกว่าบริเวณกำแพงเมฆรอบตาพายุประมาณ 2 มิลลิบาร์การหมุนเวียนที่ระดับ 41,000 ฟุตก็ยังคงมีลักษณะเป็นไซโคลนกำลังแรง (strongly cyclonic) ไหลแผ่ออกไปจากศูนย์กลางของพายุภายในรัศมี 160 ถึง 270 ไมล์ทะเล (300 – 500 กิโลเมตร)

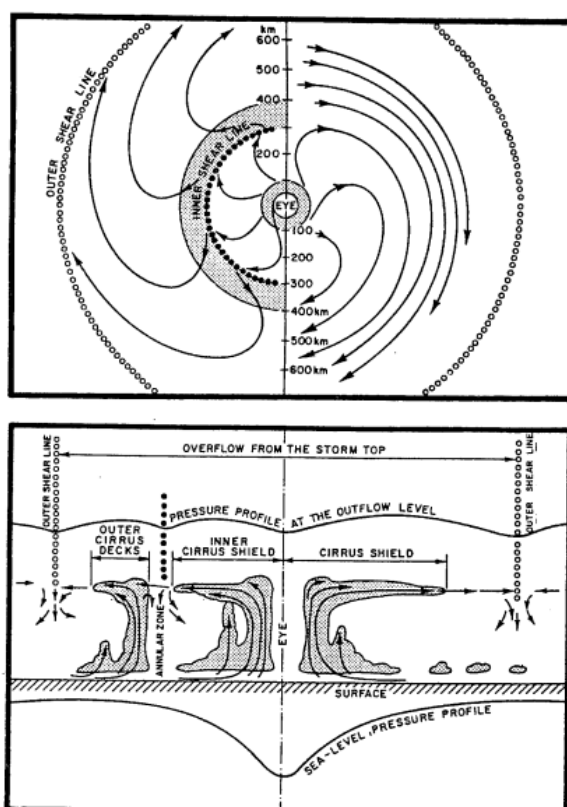
Felt (1964) เป็นหนึ่งในคนกลุ่มแรก ๆ ที่ศึกษาพายุเฮอริเคนโดยใช้ยานอวกาศที่มีมนุษย์ควบคุม (manned spacecraft) และภาพถ่ายดาวเทียมในยุคแรก ๆ โดยได้ระบุคุณสมบัติสองประการที่พบในพายุไซโคลนจำนวนมาก ณ บางช่วงเวลาระหว่างวงจรชีวิตของพายุ กล่าวคือ

พื้นที่รูปวงแหวนที่ค่อนข้างชัดเจนของการจมตัวลง (subsidence) โดยรอบขอบของแถบเมฆชั้นสูงของพายุ (storm's high cloud shield)

แถบการยกตัวในแนวตั้ง (outer convective band) อยู่ถัดออกมาจากพื้นที่รูปวงแหวนนี้ ต่อมา Fujita และคณะ (1967) ได้เสนอแบบจำลอง (รูปที่ 4-3) ของรูปแบบการไหลออกของพายุที่มีทั้งแถบฝนชั้นในและชั้นนอก (inner and outer rainbands) หรือเฉพาะแถบฝนด้านใน เพื่อให้การวิเคราะห์ง่ายขึ้น แถบฝนแสดงในลักษณะเป็นทรงกลมที่มีศูนย์กลางมากกว่าที่เป็นลักษณะของวงก้นหอยตามสภาพความเป็นจริง

โดยสรุปได้ว่าเป็นการส่งผ่านของโมเมนตัมในแนวตั้งของแถบฝนด้านนอกแล้วเปลี่ยนเป็นรูปแบบลมที่ไหลออก ส่งผลให้เกิดแนวเชิรร์ระดับบนและบริเวณที่มีลักษณะคล้ายกับวงแหวนที่ปราศจากเมฆซึ่งเป็นแนวแบ่งแยกแถบเมฆเซอร์รัสที่อยู่ชั้นในออกจากแถบฝนชั้นนอก

โครงสร้างสามมิติของพายุหมุนเขตร้อนประกอบด้วยอากาศที่ไหลเข้าสู่พายุหมุนในระดับต่ำ โดยส่วนใหญ่ยกตัวขึ้นในกำแพงเมฆรอบตาพายุและตามแถบฝนอื่นๆ (แถบฝนชั้นใน/ชั้นนอก) และไหลออกในรูปแบบไซโคลน (ล้อมรอบด้วยแอนติไซโคลน) บริเวณด้านบนสุดของพายุหมุนและจมตัวลงห่างออกไปในระยะหนึ่ง การบังคับให้จมลงบริเวณตาพายุทำให้เกิดการบีบอัดของอากาศและอุ่นขึ้นตามกระบวนการอะเดียเบติก ส่งผลทำให้ความกดอากาศที่ผิวพื้นลดลง



รูปที่ 4-3 แบบจำลองพายุไต้ฝุ่นของฟูจิตา (Fujita typhoon models)

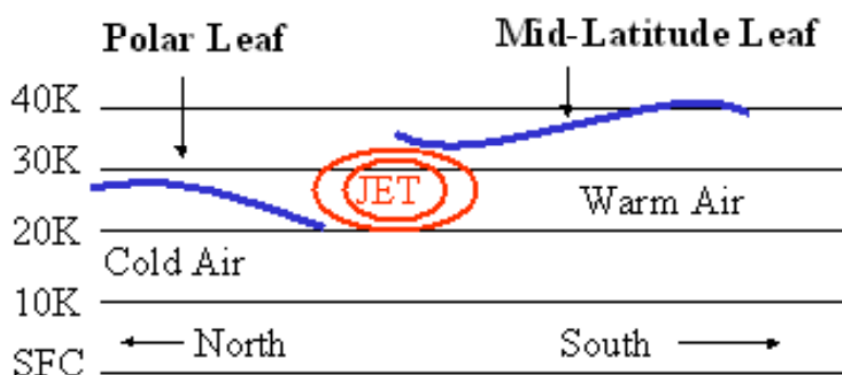
จากรูปที่ 4-3 รูปด้านบนแสดงการไหลออกของลม (outflow winds) ส่วนรูปด้านล่างแสดงภาพตัดขวางของพายุและการเปลี่ยนแปลงความกดอากาศที่ระดับการไหลออก (outflow level) และระดับทะเลปานกลาง (sea level) พบว่าความกดอากาศที่ระดับการไหลออกบริเวณเชียร์ไลน์ด้านนอกและด้านใน (outer/inner shear lines) ความกดอากาศลดลงเล็กน้อย ก่อให้เกิด convergence outflow ซึ่งค่อนข้างจะมีการจมตัวของอากาศ

3. กระแสลมกรดและการวิเคราะห์ (Jet streams and Analysis)

กระแสลมกรดคือแถบของลมแรงที่ค่อนข้างแคบในบรรยากาศระดับบน ส่วนใหญ่ลมที่พัดอยู่ในกระแสลมกรดจะพัดจากทิศตะวันตกไปทิศตะวันออก แต่บ่อยครั้งที่เคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวเหนือและใต้ กระแสลมกรดพัดตามแนวที่อยู่ระหว่างบริเวณอากาศร้อนและอากาศเย็น สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดกระแสลมกรดคือความแตกต่างกันอย่างมากระหว่างอุณหภูมิของอากาศในแนวระนาบ (horizontal temperature contrast) และการเคลื่อนที่เหนือบริเวณแฮดเลย์และเฟอร์เรลเซลล์ (Hadley and Ferrell cells) ตามปกติมีความยาวนานเป็นพัน ๆ กิโลเมตร ความกว้างนับเป็นร้อย ๆ กิโลเมตรและความหนาหลายกิโลเมตร สำหรับแกนของกระแสลมกรดเป็นบริเวณแถบของความเร็วมสูงสุด (band of maximum winds) ที่อยู่ตอนกลางของกระแสลมกรด โดยทั่วไปความชันของความเร็วมเท่า (isotach gradients) จะชันมาก (เส้นความเร็วมเท่าเรียงชิดกัน) ทางด้านอากาศเย็น (แถบขั้วโลก) และความชันน้อยกว่า (เส้นความเร็วมเท่าอยู่ห่างกัน) ทางด้านอากาศอุ่น (แถบศูนย์สูตร) ส่วนในแนวตั้งความชันมากอยู่ทางตอนบน กระแสลมกรดที่เป็นที่รู้จักกันมากคือ กระแสลมกรดแถบขั้วโลก (Polar front Jet : PFJ) และรองลงมาคือ กระแสลมกรดกึ่งเขตร้อน (Subtropical Jet : STJ)

3.1 กระแสลมกรดแถบขั้วโลก (Polar front Jet : PFJ)

กระแสลมกรดแถบขั้วโลกพบอยู่ระหว่างรอยต่อในส่วนของโทรโปพอสในเขตอบอุ่น (Mid latitude leaf) กับในส่วนของโทรโปพอสแถบขั้วโลก (Polar leaf) (รูปที่ 4-4) บริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่ที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างเขตละติจูดกลางกับแถบขั้วโลกซึ่งมีความแตกต่างมากที่สุด กระแสลมกรดแถบขั้วโลกเคลื่อนย้ายตามฤดูกาล ฟังระลึกเสมอว่าเมื่อทำการวิเคราะห์กระแสลมกรดซึ่งแนวของกระแสลมกรดจะเคลื่อนสูงขึ้นไปทางเหนือในแถบขั้วโลกในช่วงฤดูร้อนและเคลื่อนตัวลงมาทางใต้ในช่วงฤดูหนาว กระแสลมกรดแถบขั้วโลกในช่วงฤดูหนาวพบว่าอยู่ที่ระดับประมาณ 300 hPa ทั้งนี้เพราะอากาศเย็นกว่าและมีความหนาแน่นมากกว่า ในทางกลับกันในช่วงฤดูร้อนจะพบได้โดยง่ายที่ระดับ 200 hPa เพราะว่าอากาศอุ่นกว่าและความหนาแน่นน้อยกว่า



รูปที่ 4-4 กระแสลมกรดแถบขั้วโลก

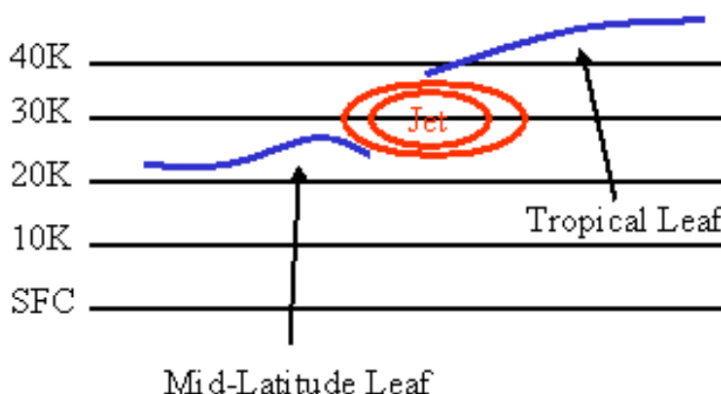
การวางตำแหน่งกระแสลมกรดแถบขั้วโลก (Identifying the PFJ)

1. พิจารณาจากแผนที่การวิเคราะห์ความหนาของบรรยากาศระหว่างระดับ 1,000 – 500 hPa (thickness chart) กระแสลมกรดจะอยู่บริเวณที่เส้นชั้นความหนาอยู่เรียงชิดกันอย่างหนาแน่น (tightness thickness packing)
2. พบในบริเวณใกล้กับเส้นชั้นความสูง (contour) ที่อยู่เรียงชิดกันอย่างหนาแน่นที่ระดับ 500 hPa (500 hPa contour gradient) และมักพบว่าอยู่ระหว่างเส้นชั้นความสูง 5,500 – 5,670 เมตร
3. โดยทั่วไปพบห่างออกไปทางแถบอากาศเย็นของแนวปะทะอากาศเย็นที่ผิวพื้นประมาณ 300 ไมล์ทะเล (5° ละติจูด)และประมาณ 600 ไมล์ทะเล (10° ละติจูด) ทางแถบอากาศเย็นของแนวปะทะอากาศอุ่นที่ผิวพื้น (ด้านหลังแนวปะทะอากาศเย็นและด้านหน้าแนวปะทะอากาศอุ่น)
4. ในการวิเคราะห์อุณหภูมิเท่าในแผนที่อากาศชั้นบนที่ระดับ 500 hPa กระแสลมกรดแถบขั้วโลก จะอยู่เหนือความชันของอุณหภูมิสูงสุด (maximum thermal gradient) (ระหว่างเส้นอุณหภูมิเท่า -15°C ถึง -25°C) ซึ่งปกติจะพบอยู่บริเวณเส้นอุณหภูมิเท่า -17°C
5. อาจจะกำหนดในบริเวณอากาศอุ่นที่อยู่เหนือแนวปะทะอากาศเย็นระดับบน (upper cold front) ที่อยู่ด้านหลังของแนวปะทะอากาศเย็นที่ผิวพื้น
6. เมฆเซอร์รัสมีแนวโน้มที่ก่อตัวทางแถบอากาศอุ่นของแกนของกระแสลมกรด ซึ่งทำให้สามารถระบุบริเวณของแกนของกระแสลมกรด (การวิเคราะห์กระแสลมกรดในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา)
7. ความสมบูรณ์ในการวิเคราะห์กระแสลมกรดแถบขั้วโลกขึ้นอยู่กับ การวิเคราะห์เส้นความเร็วลมเท่าในแผนที่อากาศชั้นบนที่ระดับ 200/300 hPa ความชันของเส้นชั้นความสูงเท่าที่ระดับ 500 hPa เส้นชั้นความหนา (thickness) และภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา บ่อยครั้งที่ข่าวสารการรายงานจากนักบิน (PIREP) จะให้เบาะแสกับเราเกี่ยวกับความแรงสูงสุดและตำแหน่งของกระแสลมกรดที่เกิดขึ้นในระหว่างระดับความกดอากาศ

หมายเหตุ ถึงแม้ว่า กขอ.คปอ. ไม่ได้ทำการวิเคราะห์แผนที่อากาศชั้นบนในลักษณะดังกล่าว แต่ด้วยความก้าวหน้าในปัจจุบันและอนาคตของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในเขตร้อนที่มีผลผลิตหลากหลายและสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์กระแสลมกรดได้

3.2 กระแสลมกรดกึ่งเขตร้อน (Subtropical Jet : STJ)

กระแสลมกรดกึ่งเขตร้อนเกิดจากปฏิสัมพันธ์ของแอตเลย์และเฟอร์เรลเซลล์ โดยที่เป็นการพัดสอบเข้าหากัน (convergence) ของลมในระดับบนระหว่างโทรโปสเฟียร์ร้อนกับโทรโปสเฟียร์เย็นซึ่งเป็นตำแหน่งของกระแสลมกรดนี้ (รูปที่ 4-5)



รูปที่ 4-5 กระแสลมกรดกึ่งเขตร้อน

การวางตำแหน่งกระแสลมกรดกึ่งเขตร้อน (Identifying the STJ)

1. โดยเฉลี่ยกระแสลมกรดกึ่งเขตร้อนจะอยู่ตามแนวของเส้นอุณหภูมิเท่า - 11°C ที่ระดับ 500 hPa
2. ปกติจะวางตัวในตำแหน่งของแถบลมแรงที่สุดที่ระดับ 200 hPa
3. โดยทั่วไปจะวางตัวอยู่ระหว่างละติจูดที่ 25 -35 องศา และตำแหน่งโดยเฉลี่ยจะอยู่ในแนวละติจูดที่ 28 องศา
4. เมฆเซอร์รัสที่พบจะอยู่ทางแถบอากาศอุ่นของแนวกระแสลมกรด และบ่อยครั้งที่ก่อตัวเป็นเมฆ Transverse band ในภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา (เมฆที่วางตัวตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของลม)

การวิเคราะห์เส้นความเร็วลมเท่าบริเวณกระแสลมกรด (Jetstream isotach analysis)

โดยปกติในการวิเคราะห์เส้นความเร็วลมเท่าบริเวณกระแสลมกรดจะทำการวิเคราะห์ในแผนที่อากาศชั้นบนที่ระดับ 300 หรือ 200 hPa แต่ก่อนอื่นขอให้ทำความเข้าใจคำและความหมายที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์เส้นความเร็วลมเท่าบริเวณกระแสลมกรดซึ่งกำหนดโดยองค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (WMO) และสมาคมอุตุนิยมวิทยาอเมริกัน (American Meteorological Society : AMS) ดังนี้

1. กระแสลมกรด (Jet stream) มีคุณลักษณะของเขี้ยวทั้งในแนวตั้งและแนวนอน ความเร็วลมต่ำสุดที่ใช้ในการวิเคราะห์ตำแหน่งของกระแสลมกรดคือบริเวณที่มีความเร็วลม 50 นอต

2. แกนของกระแสลมกรด (Jet Stream axis) หมายถึง แนวของความเร็วลมสูงสุดที่พบ ณ ราบความกดอากาศระดับหนึ่งเท่านั้น

3. แกนความเร็วลมสูงสุด (Jet core/Jet max) มีความหมาย 2 นัย คือ

3.1 บริเวณที่มีความเร็วสูงสุดตามแนวแกนของกระแสลมกรด

3.2 แนวของความเร็วลมสูงสุดที่พบในทิศทางทั้งในแนวตั้งและแนวนอน ดังนั้นแกนของกระแสลมกรด (Jet Stream axis) จึงเป็นภาพสะท้อนให้เห็นถึงแกนความเร็วลมสูงสุด ณ ราบความกดอากาศใด ณ ระดับหนึ่งเท่านั้น

4. แถบความเร็วลมสูงสุด (Jet streak) คือ บริเวณความเร็วลมสูงสุดตามแนวแกนของกระแสลมกรดที่แสดงโดยเส้นความเร็วลมเท่าที่เป็นวงปิด (closed isotach) นี่เป็นข้อแตกต่างจากแกนความเร็วลมสูงสุด (Jet core)

5. Jetlet เป็นรูปแบบหนึ่งของแถบความเร็วลมสูงสุด (Jet streak) เพียงแต่มีขอบเขตของพื้นที่เล็กกว่าและความเร็วลมค่อนข้างอ่อน (แต่ยังอยู่ในเกณฑ์ที่จัดเป็นกระแสลมกรด)

ข้อเสนอแนะขั้นตอนการวิเคราะห์กระแสลมกรดด้วยมือ (Hand Analysis of the Jet Stream)

1. พิจารณาแนวการเคลื่อนที่ของกระแสลมกรดตามจุดต่าง ๆ ตามสถานีที่รายงานซึ่งห่างกันประมาณ 250 ไมล์ โดยให้กวาดสายตาในแนวขวางกับทิศทางการเคลื่อนที่ของลมเพื่อค้นหาจุดที่มีความเร็วสูงสุด

2. ในกรณีที่มีแกนความเร็วสูงสุด (jet core) หลายจุด อาจพบว่าความเร็วลมสูงสุดมีมากกว่าหนึ่งแห่ง ให้ทำเครื่องหมายไว้ทั้งหมด

3. ให้ใช้จุดที่มีความเร็วสูงสุดเหล่านั้นสร้างแนวของกระแสลมกรดเป็นเส้นแรกหรือหลายเส้นในกรณีที่มีหลายจุดเพื่อที่จะระบุตำแหน่งของแกนกระแสลมกรด (jet axis) แกนแรกหรือหลายแกนแล้วแต่กรณี แนวของกระแสลมกรดควรที่จะทอดแนวไปตามการเคลื่อนที่ของลม แกนของกระแสลมกรดอาจเป็นแนวที่เข้ามารวมกันหรือแยกออกจากกันก็ได้

4. ลากเส้นความเร็วลมเท่า (Isotach) 50 นอตเพื่อแสดงขอบเขตพื้นที่ของลมแรงที่เข้าเกณฑ์ของกระแสลมกรด ตามปกติการลากเส้นความเร็วลมเท่าช่วงละ 20 นอตโดยเริ่มจากความเร็ว 50 นอต

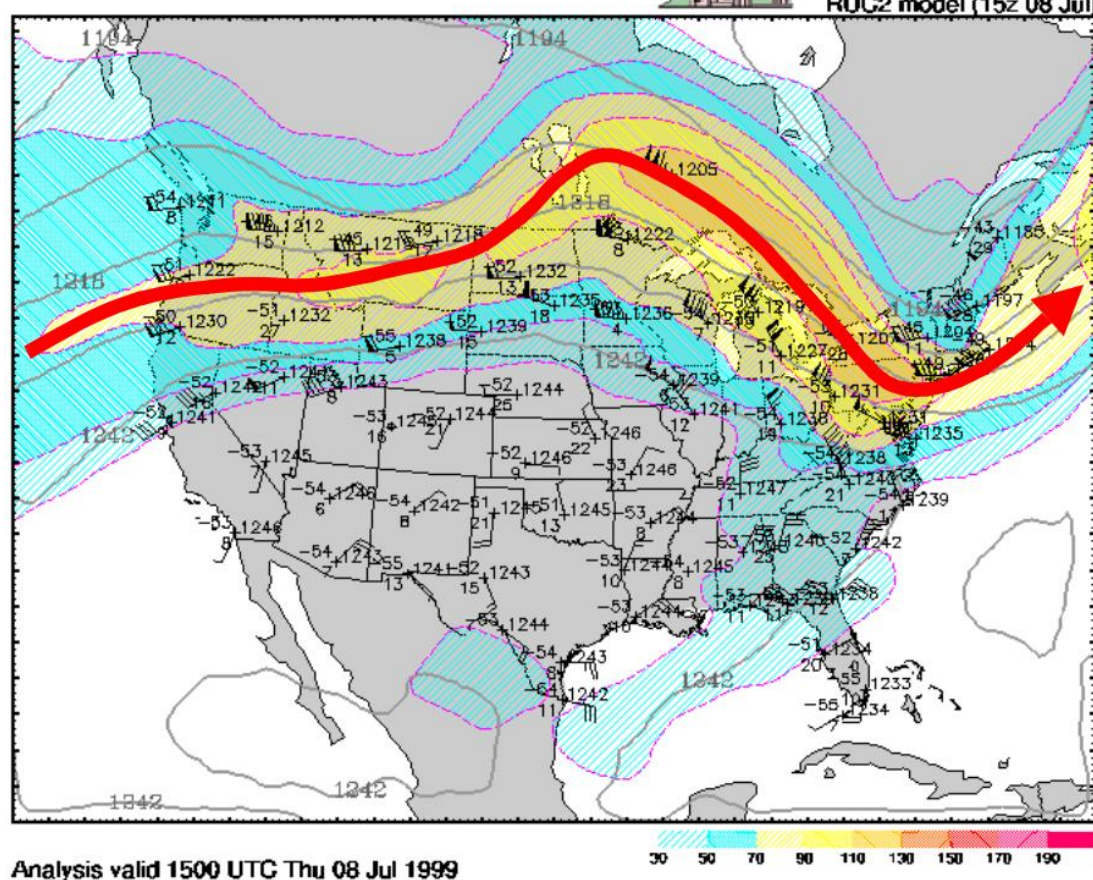
5. สืบสวนตามแนวการเคลื่อนที่ตามแกนของกระแสลมกรด (Jet axis) และประมาณตำแหน่งของแถบความเร็วลมสูงสุด (Jet streak)

6. กำหนดค่าสูงสุดของเส้นความเร็วลมเท่าที่เป็นวงปิดแต่ละเส้นพร้อมกับลากเส้นวงปิดนั้น

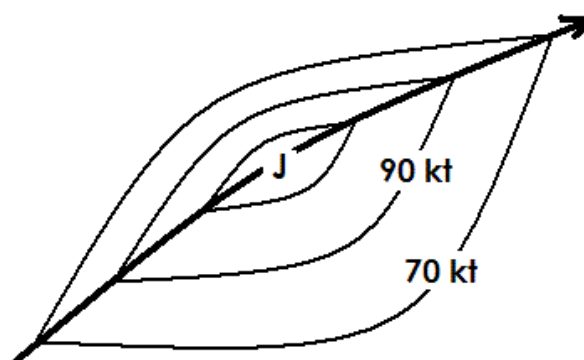
7. ลากเส้นความเร็วลมเท่าที่เป็นวงปิดถัดออกมาจากเส้นวงปิดที่มีค่าสูงสุดแต่ละแห่งจนกว่าจะครบทุกแห่งตามที่ได้พิจารณาไว้ตั้งแต่แรก

8. ปรับเส้นความเร็วลมเท่าให้เป็นรูปวงรีตามแบบที่กำหนด (รูปที่ 4-7)
9. ในกรณีวิเคราะห์ได้หลายระดับความสูง ต้องตรวจสอบให้แน่ใจว่ามีความสอดคล้องกันในแนวตั้งในหลายระดับต่าง ๆ เหล่านั้น
10. เมื่อปรับแก้เรียบร้อยแล้วให้ทำการวิเคราะห์โครงร่างของกระแสลมกรดโดยละเอียดอันเป็นขั้นตอนสุดท้ายก่อนที่จะนำไปสู่ขั้นของการแปลความ แสดงแนวแกนของกระแสลมกรดด้วยเส้นทึบสีแดงพร้อมใส่หัวลูกศรลงในระหว่างช่วงที่ทำการแบ่งไว้ตามทิศทางการเคลื่อนที่ของลมดังรูปที่ 4-6

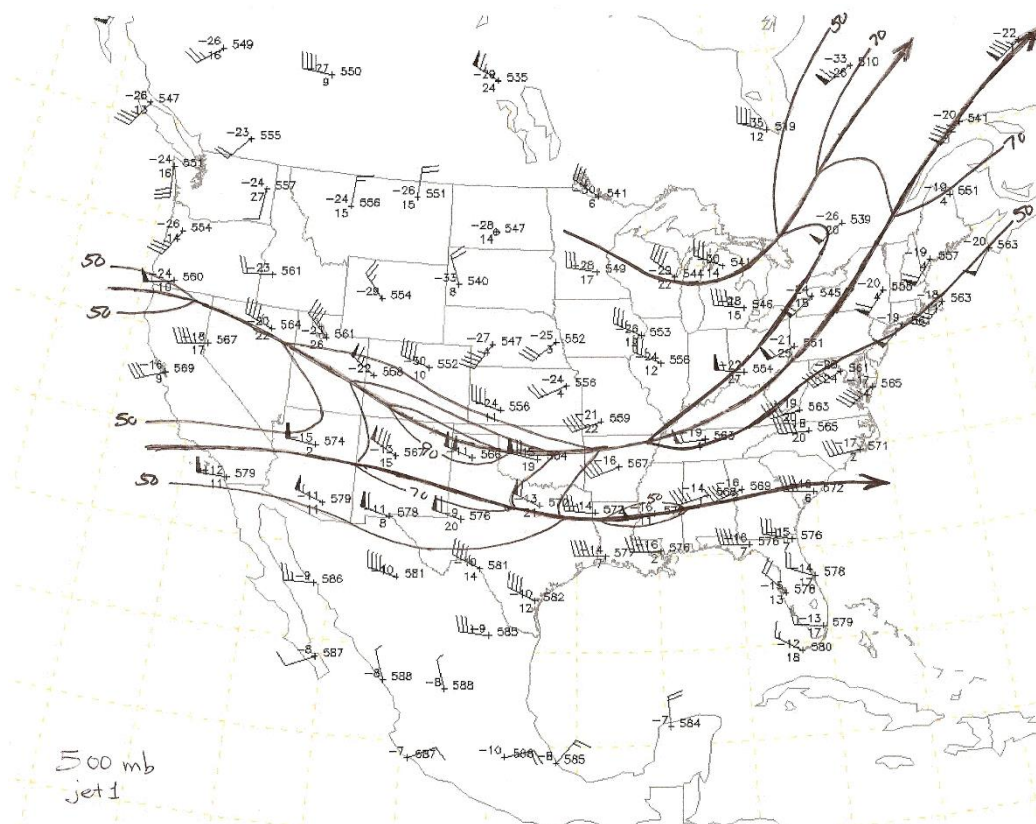
200 mb Heights(dm) / Isotachs(kts)



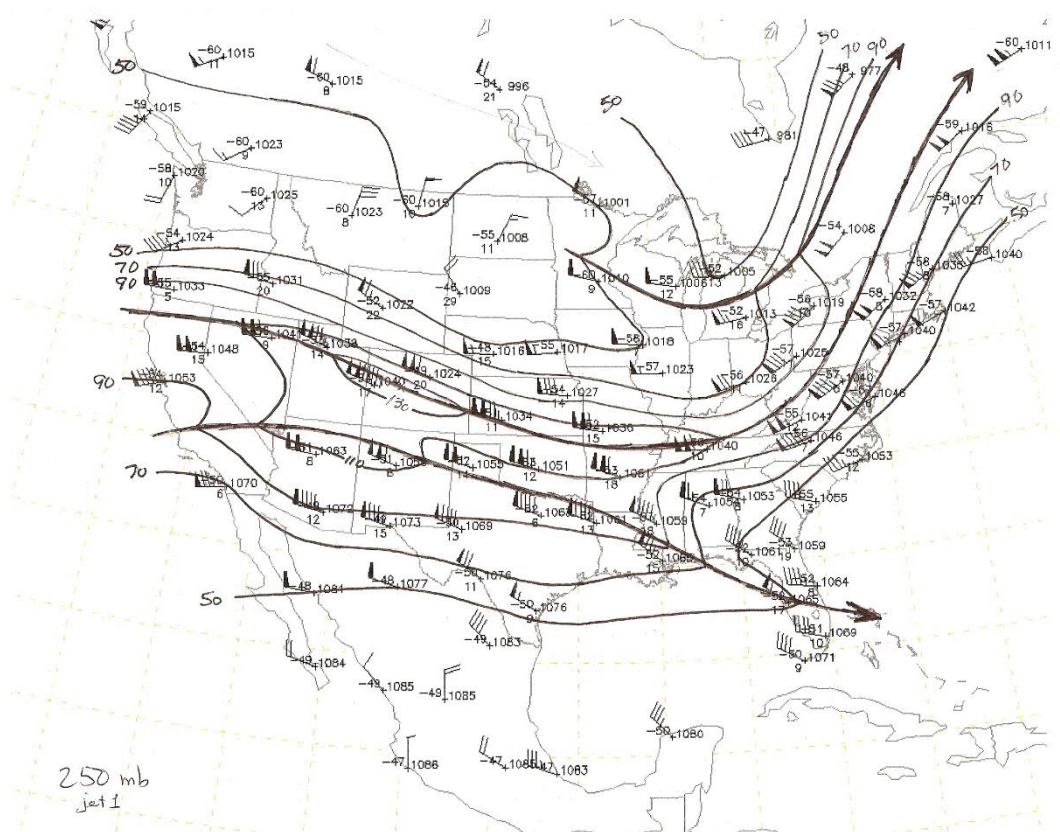
รูปที่ 4-6 เส้นความเร็วลมเท่าและกระแสลมกรด



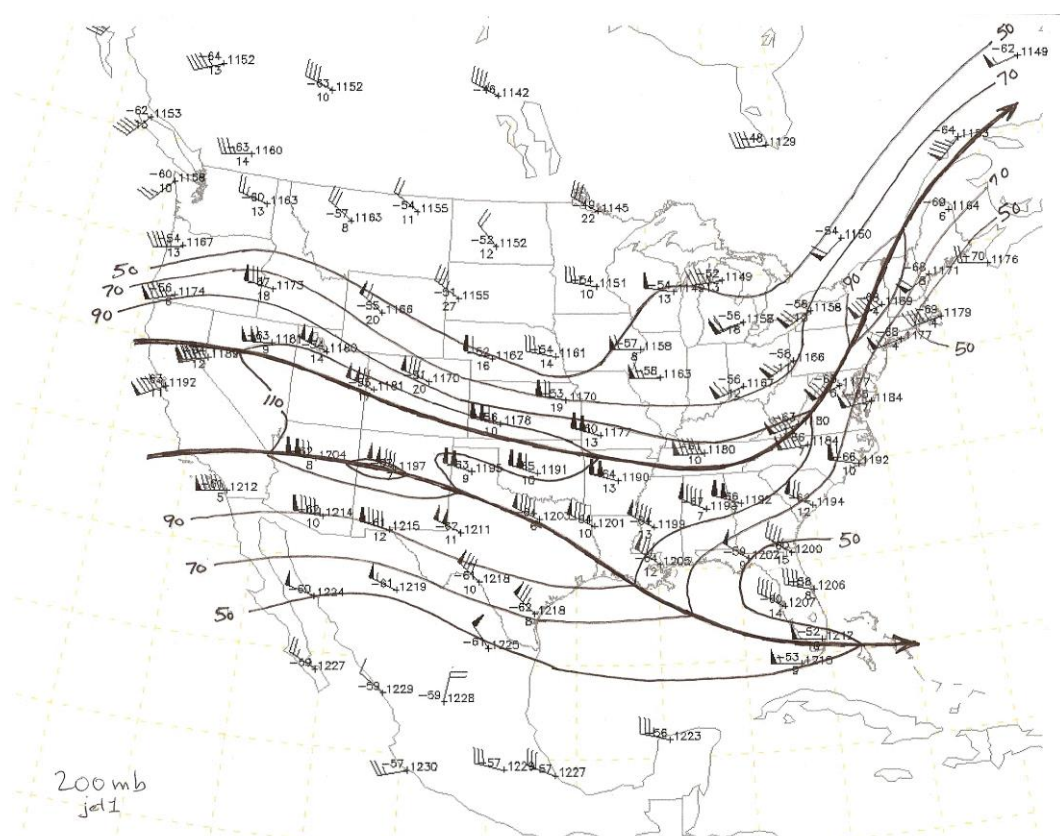
รูปที่ 4-7 แถบความเร็วลมเท่าสูงสุด (Jet Streak)



รูปที่ 4-8 การวิเคราะห์เส้นความเร็วลมเท่าและ Jet Max ที่ระดับ 500 hPa



รูปที่ 4-9 การวิเคราะห์เส้นความเร็วลมเท่าและ Jet Max ที่ระดับ 250 hPa



รูปที่ 4-10 การวิเคราะห์เส้นความเร็วลมเท่าและ Jet Max ที่ระดับ 200 hPa

เอกสารอ้างอิง

ข่าวอากาศ, กอง. (2532). เอกสารประกอบการบรรยายวิชาการวิเคราะห์เส้นลายกระแส. เอกสาร
อัดสำเนา

ข่าวอากาศ, กอง. (2535). เอกสารประกอบการบรรยายวิชาการวิเคราะห์แผนที่อากาศชั้นบน. เอกสาร
อัดสำเนา

ข่าวอากาศ, กอง. (2559). เอกสารประกอบการบรรยายวิชาการวิเคราะห์ลมชั้นบน. เอกสารอัดสำเนา

Chanute Technical Training Center,. (1986). **A practical approach to streamline analysis.**
,Chanute AFB, Illinois

Charles W, French, Col. (2000). **Air Force Weather Qualification training package :**
Analysis and Prognosis Trainee Workbook. Air Force Weather Agency
Training Division. Offutt AFB. NE.

Colin S Ramage,DSc. (1995). **Forecasters Guide to Tropical Meteorology.** Air Weather
Service. Scott AFB. Illinois.

R.N. Keshavamurty. (1973). Forecasting Manual Part II Methods of Analysis : **Analysis of
wind field.** The deputy director general of observatories. India Meteorological
department.

Integrated publishing. (2023). **Streamline – Isotach Analysis.** Retrieved 24 March 2023.
From <https://www.tpub.com>.

National weather service. (2023). **Glossary.** Retrieved 24 March 2023. From
<https://forecast.weather.gov>

University Corporation for Atmospheric Research. (2023). **Streamline Analysis.**
Retrieved 20 April 2023. From <https://meted.ucar.edu>.

ภาคผนวก

ผนวก ก

ข้อแนะนำในการทำแบบฝึกหัด

(Instructions for completion of exercises)

จุดประสงค์ของแบบฝึกหัดทั้ง 7 ที่รวบรวมไว้นี้เป็นแนวทางให้กับผู้ที่ได้รับมอบหมายให้ทำหน้าที่เจ้าหน้าที่พยากรณ์อากาศครั้งแรกโดยผ่านการพัฒนาการเรียนรู้เทคนิคพื้นฐานการวิเคราะห์เส้นลายกระแสและเส้นความเร็วลมเท่าอย่างเป็นขั้นตอน ข้อแนะนำที่สำคัญคือเจ้าหน้าที่พยากรณ์อากาศไม่ควรทำแบบฝึกหัดด้วยความเร่งรีบ แต่ควรฝึกวิเคราะห์แบบฝึกหัดเหล่านี้ภายในระยะเวลาไม่น้อยกว่าสองสัปดาห์

แบบฝึกหัดที่ 1 ประกอบด้วยรูปแบบการหมุนเวียนแบบพื้นฐานร่วมกับเส้นทิศทางลมเท่า (Isogon) ทุก ๆ 30 องศาในแนวระนาบและเส้นประกอบย่อย (line element) ความยาว $\frac{1}{4}$ นิ้ว ด้วยเส้นประกอบย่อยพอที่จะทำให้ทราบแนวการเคลื่อนที่ ให้นักวิเคราะห์ทำการวิเคราะห์เส้นลายกระแส (stream line analysis) ให้สำเร็จด้วยการใช้เส้นประกอบย่อยเป็นแนวทางในการลากเส้นลายกระแสโดยควรเริ่มที่ระบบการหมุนเวียนหลัก ๆ เป็นอันดับแรก

แบบฝึกหัดที่ 2 แบบฝึกหัดนี้เป็นข้อมูลลมชุดเดียวกันกับแบบฝึกหัดที่ 1 แต่ไม่มีเส้นทิศทางลมเท่า (Isogons) หรือองค์ประกอบของเส้นลายกระแส ให้นักวิเคราะห์ทำการวิเคราะห์เส้นลายกระแสแบบทางตรง (Free hand analysis) ลงในแบบฝึกหัดนี้ ตามความรู้ที่ได้รับมาจากแบบฝึกหัดที่ 1 และข้อแนะนำวิธีการวิเคราะห์ตามหัวข้อที่ได้ศึกษามาแล้ว

แบบฝึกหัดที่ 3 รูปแบบของลมมีความซับซ้อนยิ่งขึ้น ให้นักวิเคราะห์ทำการวิเคราะห์ตามขบวนการในแบบฝึกหัดที่ 1

แบบฝึกหัดที่ 4 รูปแบบของลมเป็นชุดข้อมูลเดียวกันกับแบบฝึกหัดที่ 3 ให้นักวิเคราะห์ทำการวิเคราะห์ตามขบวนการในแบบฝึกหัดที่ 2

แบบฝึกหัดที่ 5 เส้นทิศทางลมเท่า (Isogons) ทิศ 360, 180, 270, และ 090 องศา ได้ถูกลากไว้เรียบร้อยแล้ว ในแบบฝึกหัดและแสดงตัวอย่างบางส่วน of เส้นประกอบย่อย 360 องศาในเส้นทิศทางลมเท่า 360 องศา กำหนดให้ผู้วิเคราะห์นำขบวนการต่าง ๆ จากแบบฝึกหัดก่อนหน้านี้มาวิเคราะห์ข้อมูลดังต่อไปนี้

1. ทำการวิเคราะห์เส้นความเร็วลมเท่าทุก ๆ 30 องศาในแนวระนาบให้สมบูรณ์
2. ใส่เส้นองค์ประกอบย่อย (line elements) ลงบนเส้นทิศทางลมเท่า
3. วิเคราะห์เส้นลายกระแส
4. วิเคราะห์เส้นความเร็วลมเท่า (Isotach) ทุก ๆ ความเร็ว 10 นอต

แบบฝึกหัดที่ 6 ให้นักวิเคราะห์ทำการวิเคราะห์ให้สมบูรณ์ โดยใช้ขบวนการตามแบบฝึกหัดที่

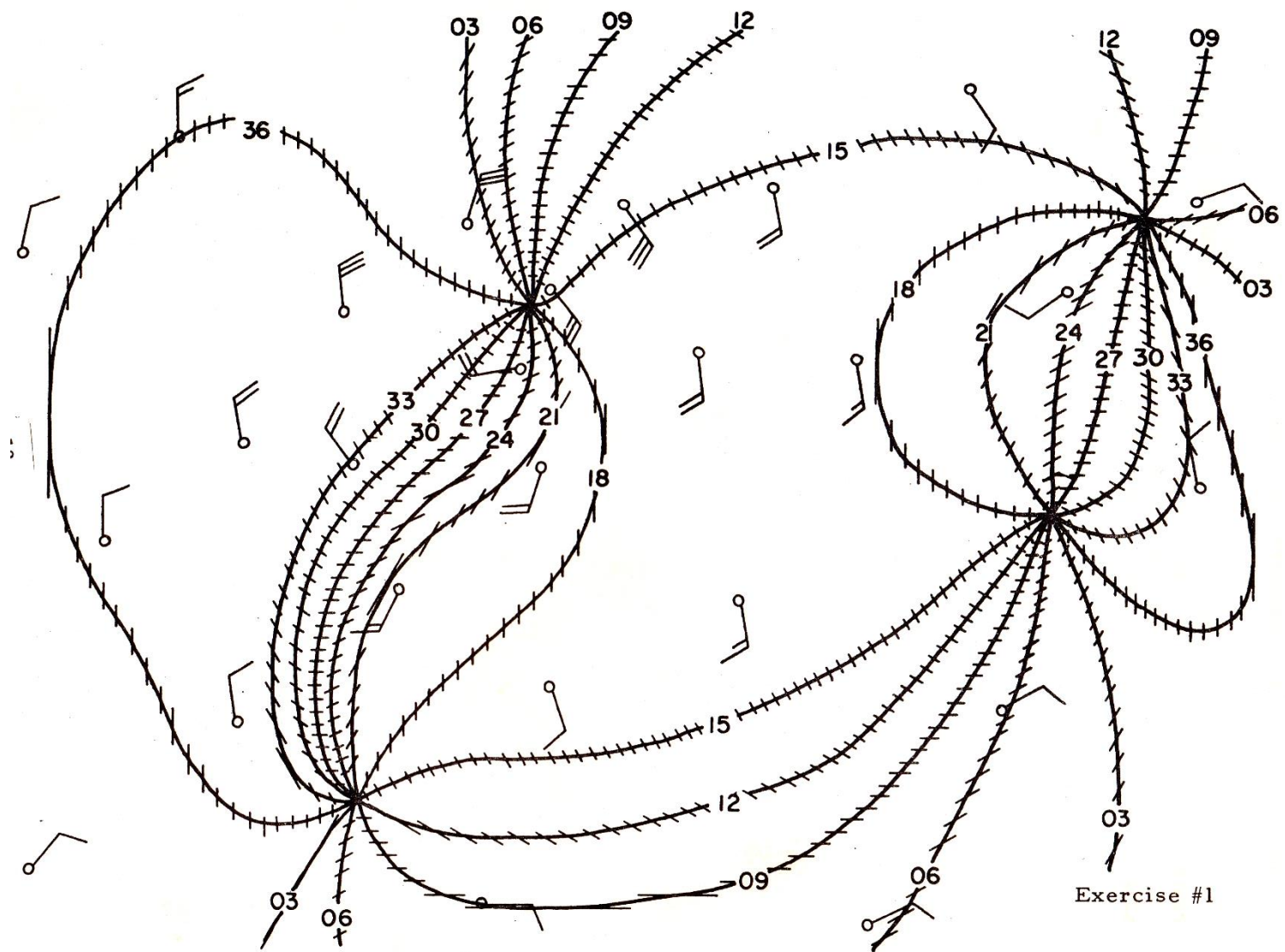
แบบฝึกหัดที่ 7 แบบฝึกหัดนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน โดยจะพบการก่อตัวของระบบหมุนเวียนแบบไซโคลนที่เกี่ยวข้องกับแนวปะทะอากาศ

ส่วนที่ 1 ให้ใช้แผ่นใสวางซ้อนทับด้านบนและทำการวิเคราะห์เส้นความกดอากาศเท่าทุก ๆ 2 hPa พร้อมทั้งวางแนวปะทะอากาศ

ส่วนที่ 2 ใช้ขบวนการในการวิเคราะห์เส้นลายกระแสและเส้นความเร็วลมเท่าตามที่กำหนดไว้ในแบบฝึกหัดที่ผ่านมามีวิเคราะห์(บนแผ่นใสที่แยกออกมาต่างหากอีกหนึ่งแผ่น) เส้นลายกระแสแบบโดยตรง (ไม่ต้องวิเคราะห์เส้นทิศทางลมเท่า)และเส้นความเร็วลมเท่า

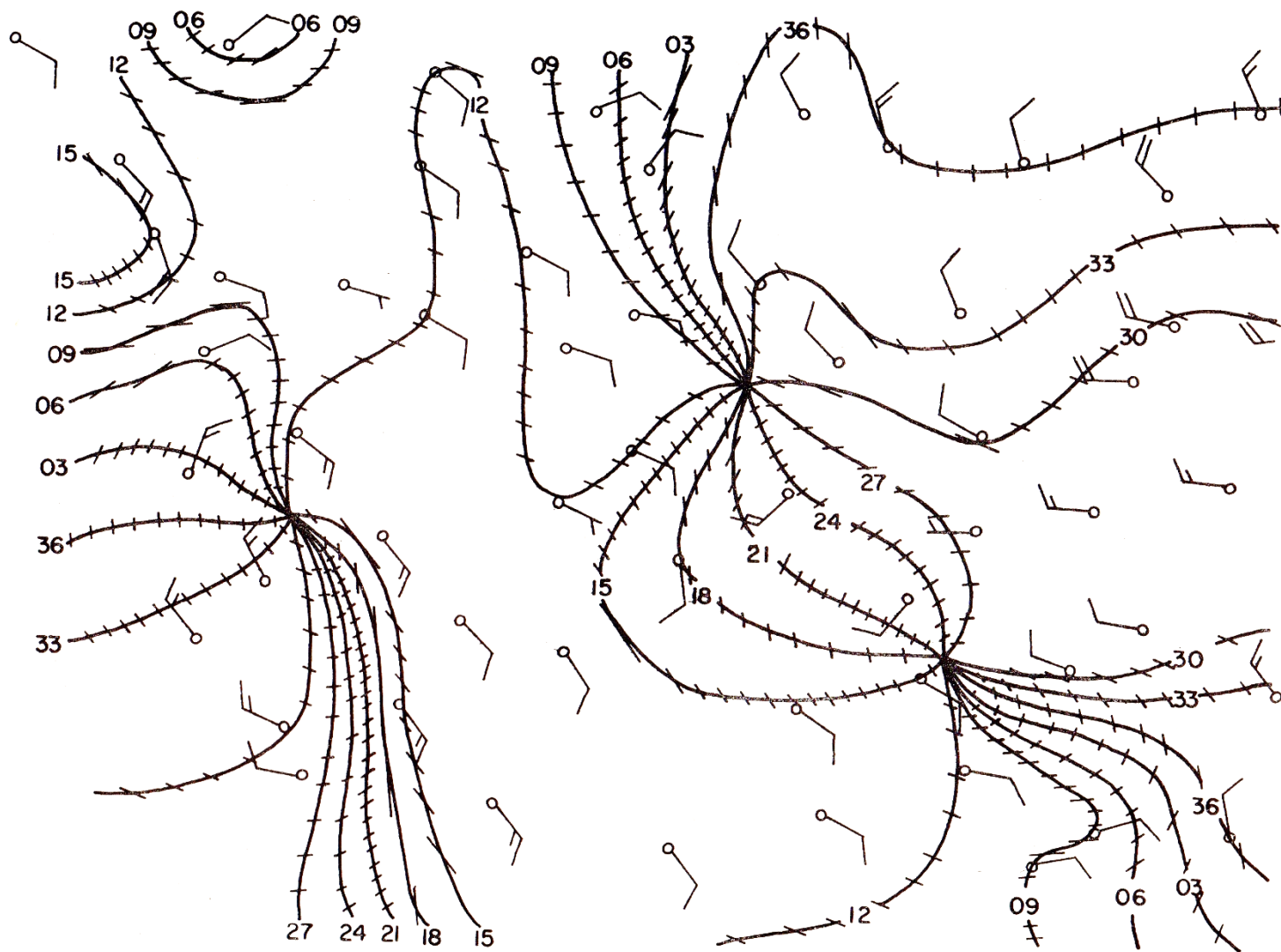
ส่วนที่ 3 ทำการซ้อนทับผลการวิเคราะห์เส้นความกดอากาศและแนวปะทะอากาศลงบนรูปแบบของเส้นลายกระแสและเส้นความเร็วลมเท่า และพิจารณาความสัมพันธ์ดังนี้

1. ศูนย์กลางของระบบ
 2. บริเวณที่เส้นลายกระแสมีการเคลื่อนที่เข้าหากัน (area of convergence) ร่วมกับแนวปะทะอากาศและศูนย์กลางไซโคลน รวมทั้งรูปแบบของเมฆและน้ำฟ้า
 3. บริเวณที่เส้นลายกระแสมีการเคลื่อนที่แยกจากกัน (area of divergence) ร่วมกับบริเวณความกดอากาศที่สูงกว่าและท้องฟ้าแจ่มใส (ปกติพบทางด้านหลังของแนวปะทะอากาศเย็น)
- (หมายเหตุ ในการเรียนการสอนปรับตามความเหมาะสม)

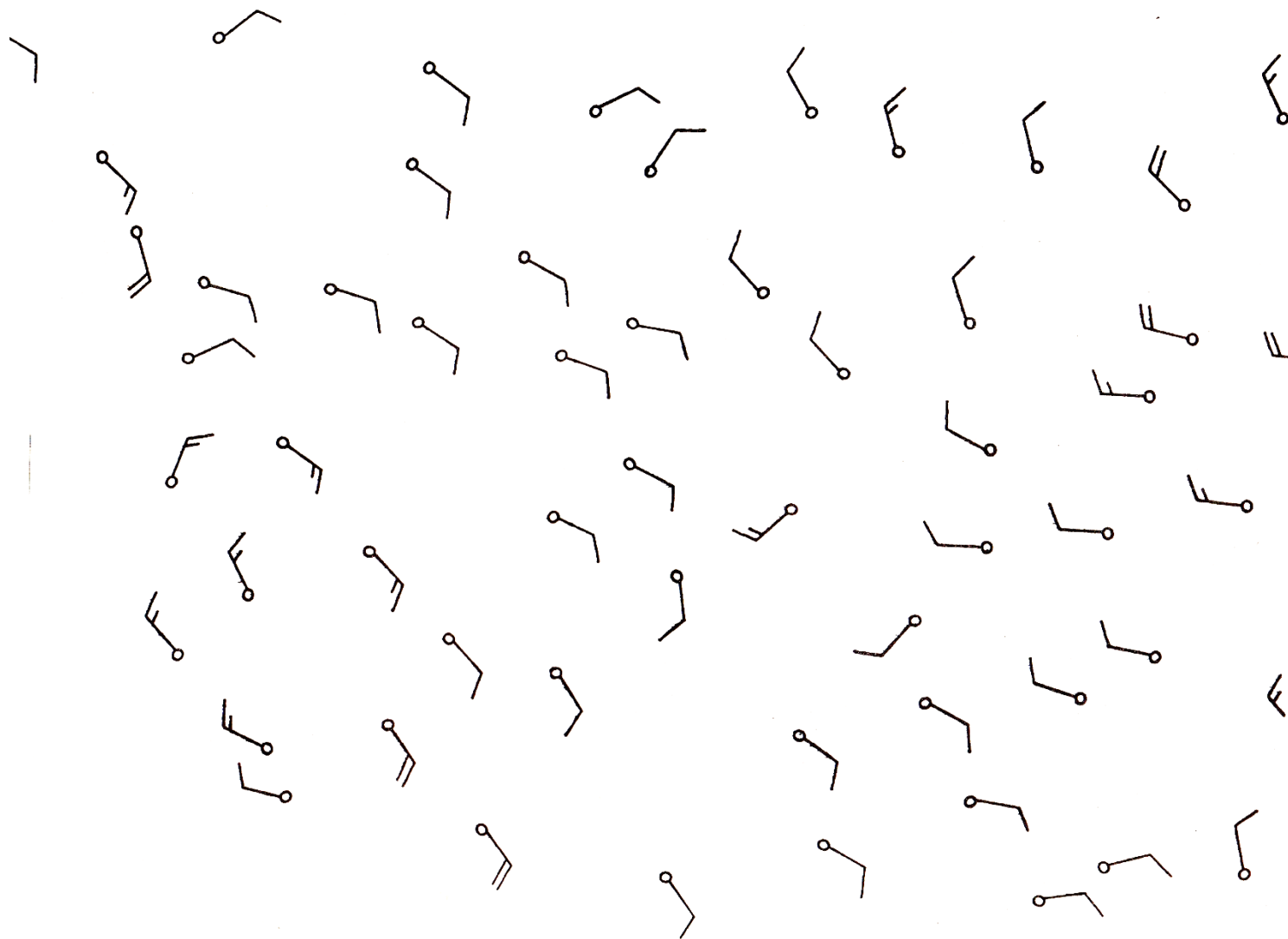




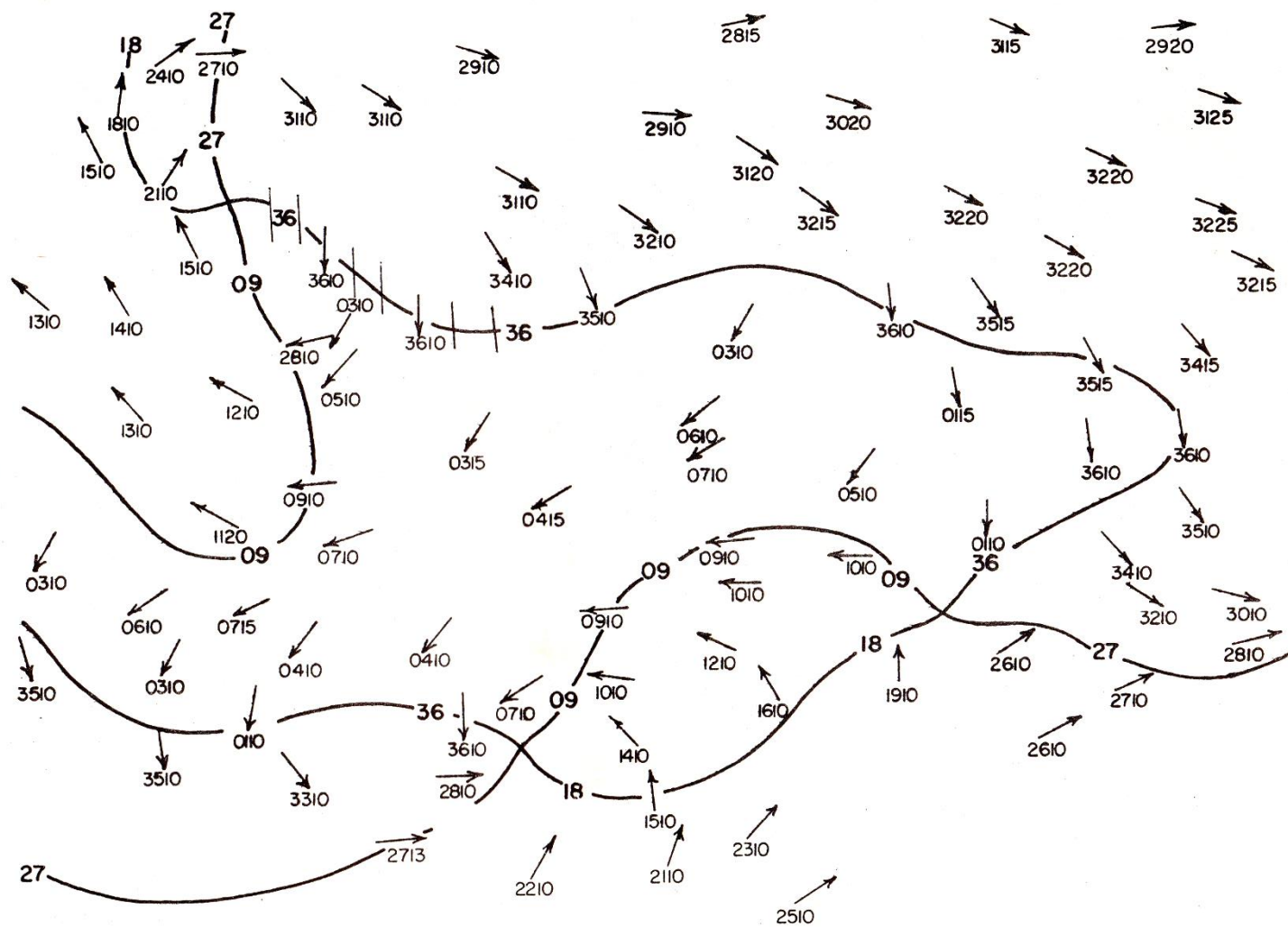
Exercise 2



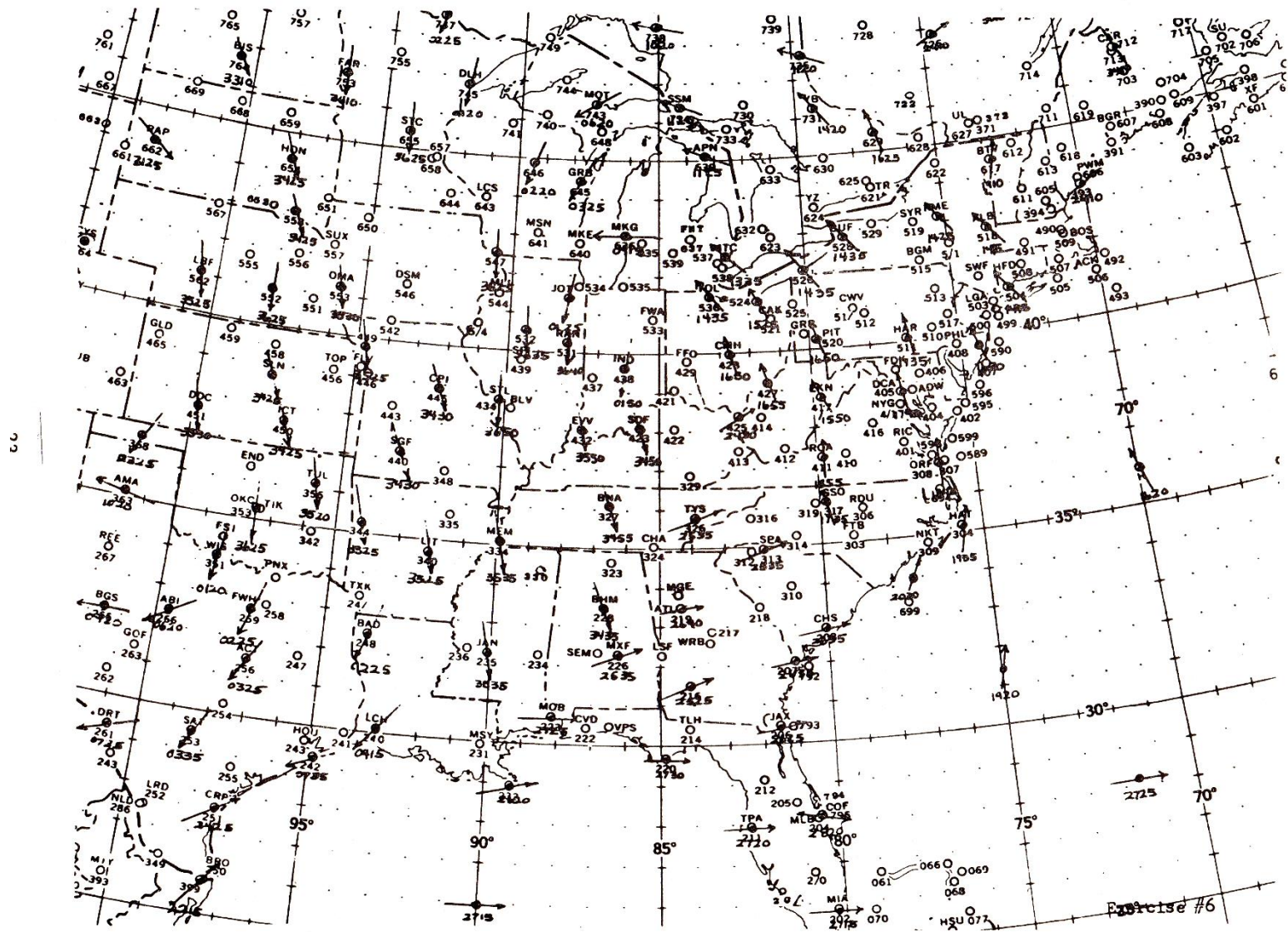
Exercise 3

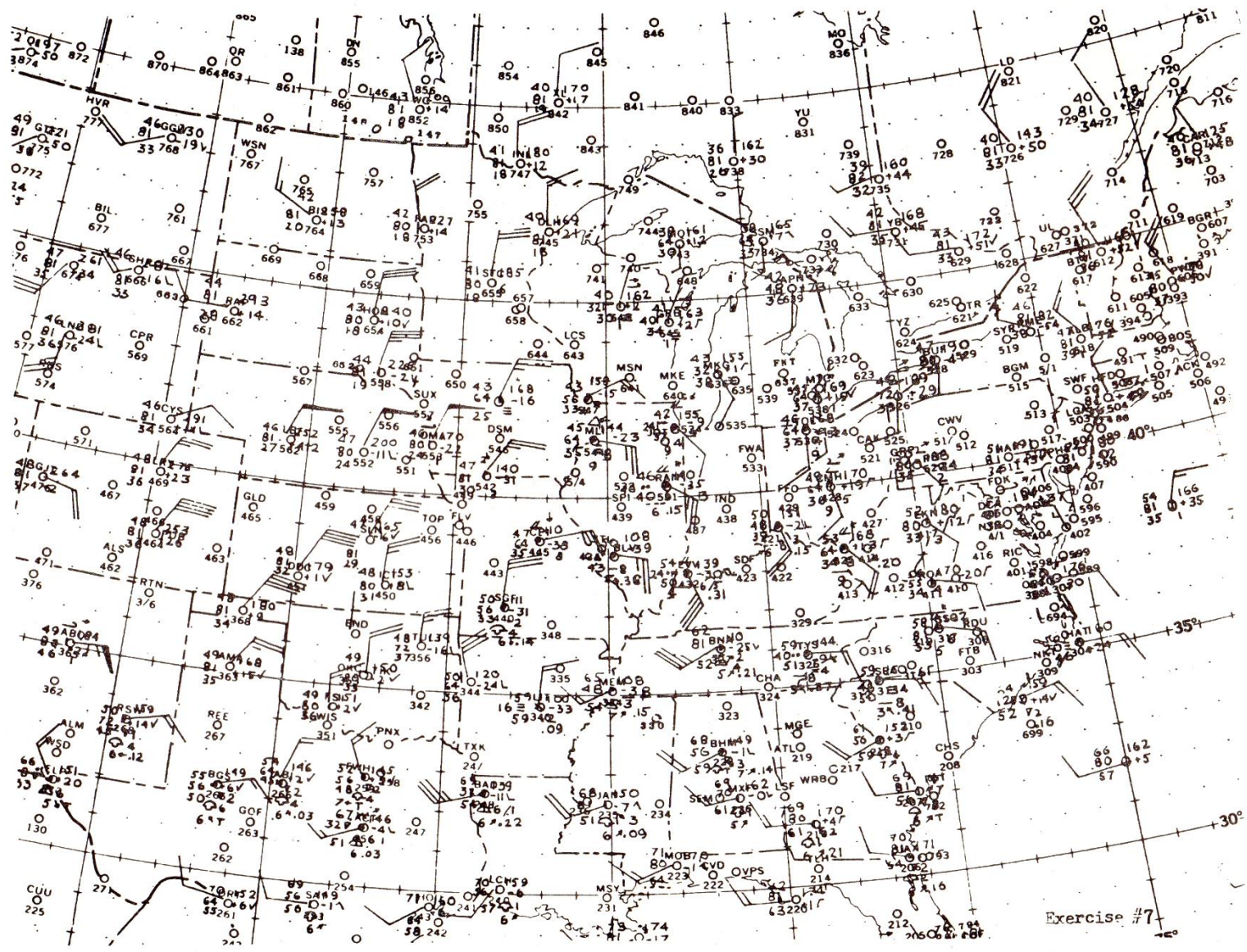


Exercise #4



Exercise #5





ผนวก ข

เทคนิคเบื้องต้นในการวิเคราะห์เส้นลายกระแสและเส้นความเร็วลมเท่า

(Basic techniques for Stream line and Isotach Analysis)

การวิเคราะห์ลมชั้นบนโดยวิธีนี้ เมื่อเจ้าหน้าที่ข่าวอากาศเขียนข้อมูลลมเสร็จแล้ว ก็ลงมือลากเส้นขนานกับ ศรลมได้โดยตรงเลย ซึ่งการวิเคราะห์ลมชั้นบนโดยวิธีนี้ขึ้นอยู่กับทักษะและความชำนาญของผู้วิเคราะห์ลม โดยเทคนิคเบื้องต้นในการวิเคราะห์ซึ่งถ่ายทอดจากประสบการณ์ของอาจารย์รุ่นเก่า ๆ ที่ทำหน้าที่ในการบรรยายได้รวบรวมไว้ รายละเอียดพอสังเขป ดังนี้

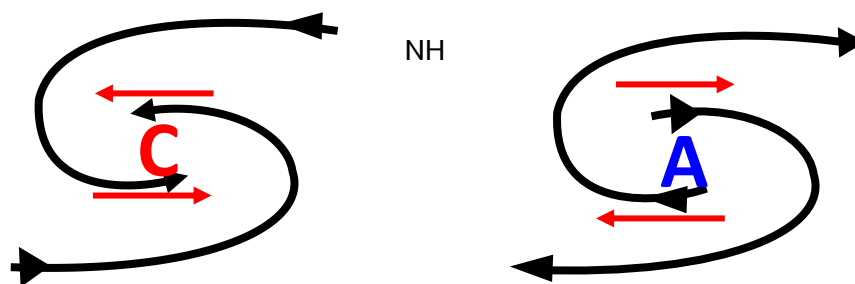
1. การหาจุดศูนย์กลางของ CYCLONE และ ANTICYCLONE พิจารณาได้ดังนี้

1.1 จะอยู่ในบริเวณที่ลมอ่อนหรือลมสงบ

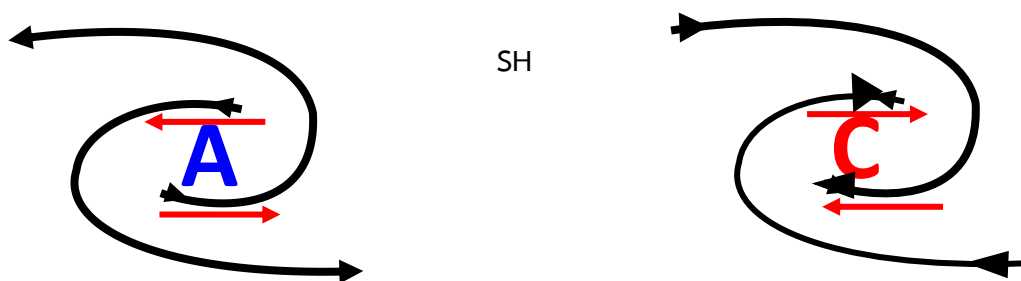
1.2 พิจารณาจากศรลมที่เขียนลงในแผนที่

1.2.1 อยู่ระหว่างศรลมที่มีทิศทางสวนกัน และศรลมนั้นอยู่ในแนวขนานอยู่ก่อนไปทางศรลมที่มีความเร็วลมอ่อนกว่า

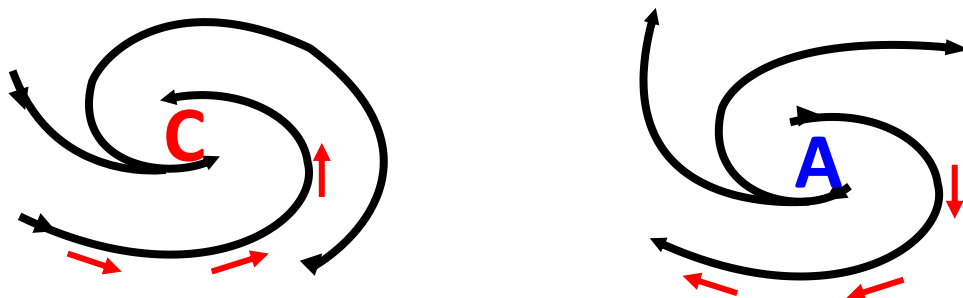
1.2.1.1 ถ้าศรลมเปลี่ยนทิศทางในลักษณะทวนเข็มนาฬิกาในซีกโลกเหนือจุดศูนย์กลางที่ได้จะเป็นศูนย์กลางของ CYCLONE และในซีกโลกใต้จะเป็นศูนย์กลางของ ANTICYCLONE



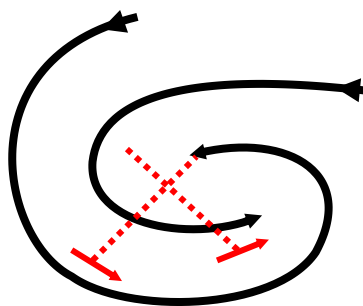
1.2.1.2 ถ้าศรลมเปลี่ยนทิศทางในลักษณะตามเข็มนาฬิกา ในซีกโลกเหนือจุดศูนย์กลางที่ได้จะเป็นศูนย์กลางของ ANTICYCLONE และในซีกโลกใต้จะเป็นศูนย์กลางของ CYCLONE



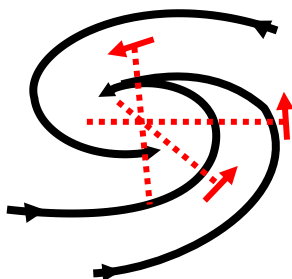
1.2.2 ถ้าศรลมตั้งแต่ 2 ศรขึ้นไปแสดงให้เห็นว่าลมจะหมุนเป็นวง หรือมีลักษณะเป็นส่วนโค้งของวงหมุน และในแผนที่แผนที่แล้วมีศูนย์กลางของ CYCLONE หรือ ANTICYCLONE อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงอาจกล่าว ได้ว่ามีศูนย์กลางของ CYCLONE หรือ ANTICYCLONE อยู่ในบริเวณนั้น หาศูนย์กลางโดยประมาณได้ดังนี้



1.2.2.1 ถ้ามีศรลมเพียง 2 ศร ให้ลากเส้นตั้งฉากกับศรลมทั้งสองจากสถานีเส้นตั้งฉากตัดกันที่จุดใดจุดนั้นจะเป็นศูนย์กลางโดยประมาณ แต่จะอยู่ก่อนไปทางศรลมที่มีความเร็วลมอ่อนกว่า

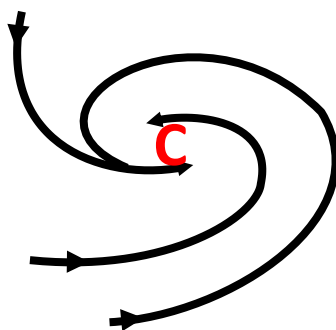


1.2.2.2 ถ้ามีศรีมตั้งแต่ 3 ศรีขึ้นไป ให้ลากเส้นตั้งฉากกับศรีมทุกศรีจากสถานี
เส้นตั้งฉากจะตัดกันเกิดเป็นรูปหลายเหลี่ยมจุดศูนย์กลางโดยประมาณจะอยู่ในรูปหลายเหลี่ยมที่ได้ แต่จะ
ค่อนข้างไปทางศรีมที่มีความเร็วลมอ่อนกว่า

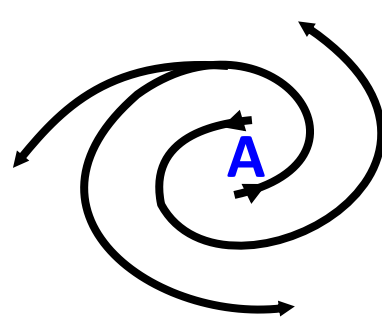


1.2.2.3 ถ้าศรีมเปลี่ยนทิศทางในลักษณะทวนเข็มนาฬิกาในซีกโลกเหนือ
ศูนย์กลางที่ได้จะเป็น CYCLONE และซีกโลกใต้จะเป็น ANTICYCLONE

NH CYCLONE

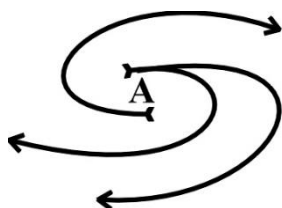


SH ANTICYCLONE

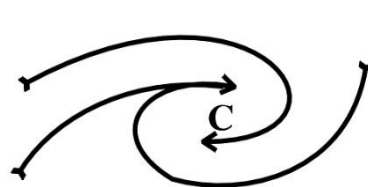


1.2.2.4 ถ้าศรีมเปลี่ยนทิศทางในลักษณะตามเข็มนาฬิกาในซีกโลกเหนือ
ศูนย์กลางที่ได้จะเป็น ANTICYCLONE และซีกโลกใต้จะเป็น CYCLONE

NH ANTICYCLONE



SH CYCLONE

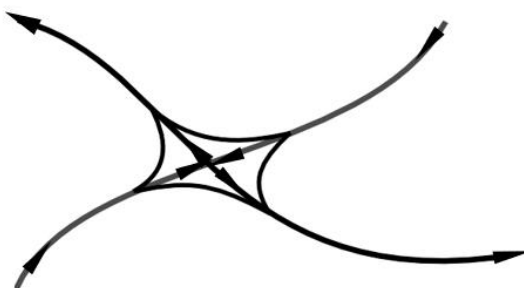


1.2.2.5 ถ้าแนวของศรลมมีแนวเป็นส่วนโค้งของวงกลม จุดศูนย์กลางของวงกลม หรือส่วนโค้ง ก็คือจุดศูนย์กลางของ CYCLONE หรือ ANTICYCLONE

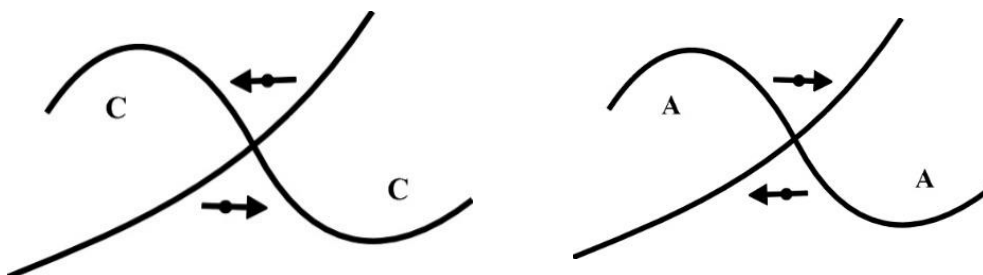


2. การหาตำแหน่งของ NEUTRAL POINT

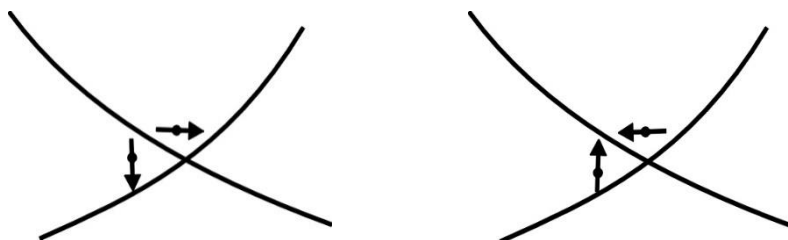
2.1 จุดตัดของ CONVERGENCE ASYMPTOTE กับ DIVERGENCE ASYMPTOTE เป็นจุดกึ่งกลางของ NEUTRAL POINT



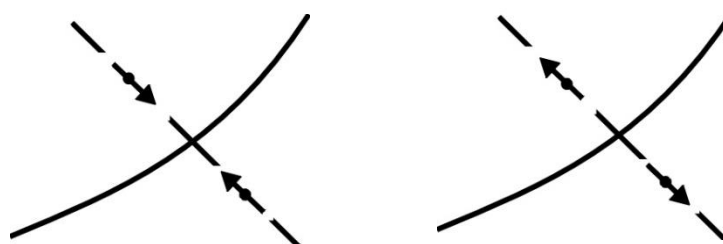
2.2 บริเวณที่ศรลมสวนกันและขนานกันที่คาดว่าไม่ใช่บริเวณศูนย์กลางของ CYCLONE หรือ ANTICYCLONE และอยู่ระหว่าง CYCLONE 2 ตัว หรือ ANTICYCLONE 2 ตัว ให้คาดว่าเป็นบริเวณของ NEUTRAL POINT



2.3 บริเวณที่มีลมแยกออกจากกัน และสอบเข้าหากัน ซึ่งคั่นอยู่ระหว่าง CYCLONE 2 ตัว หรือ ANTICYCLONE 2 ตัว ให้คาดว่าเป็นบริเวณของ NEUTRAL POINT



2.4 บริเวณที่ศรลมอยู่ในแนวเดียวกัน แต่สวนทางกัน และอยู่ระหว่างกลางของ CYCLONE 2 ตัว หรือ ANTICYCLONE 2 ตัว ให้คาดว่าเป็นบริเวณของ NEUTRAL POINT

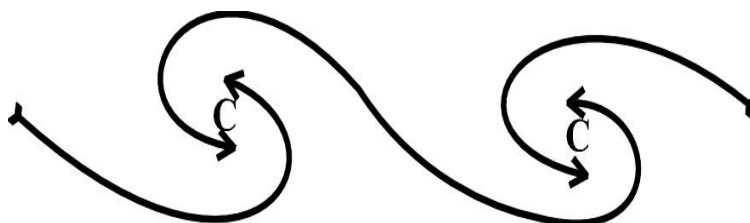


2.5 บริเวณ NEUTRAL POINT ลมจะอ่อน และที่จุดกึ่งกลางลมจะสงบ

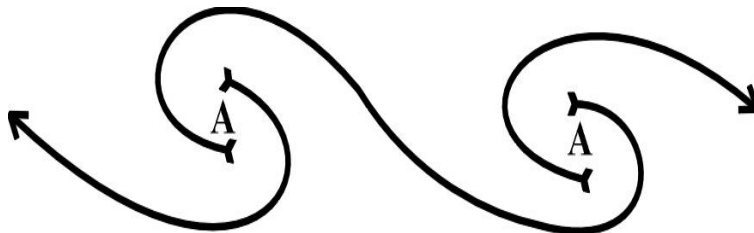
2.6 เมื่อวิเคราะห์เส้นลายกระแสเรียบร้อยแล้วที่จุดกึ่งกลางของ NEUTRAL POINT จะเห็นว่าลม 4 ทิศ 2 ทิศจะพุ่งเข้าหากัน และอีก 2 ทิศจะแยกออกจากกัน

3. การลากเส้นลายกระแส (STREAM LINE DRAWING)

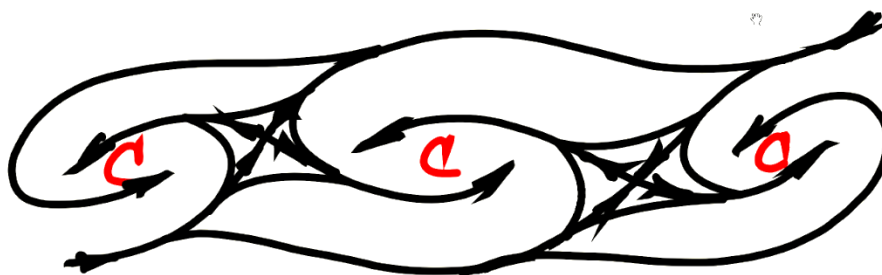
3.1 เริ่มต้นด้วยลาก CONVERGENCE ASYMPTOTE เชื่อมศูนย์กลางของ CYCLONE 2 ตัว CYCLONE 1 ตัว จะลาก CONVERGENCE ASYMPTOTE ออกจากศูนย์กลางได้ 2 เส้น โดยลากผ่านจุดกึ่งกลางของ NEUTRAL POINT



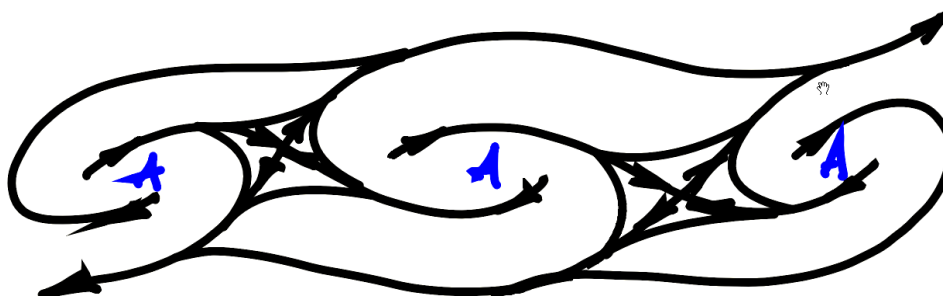
3.2 ลาก DIVERGENCE ASYMPTOTE เชื่อมศูนย์กลางของ ANTICYCLONE 2 ตัว ANTICYCLONE 1 ตัว จะลาก DIVERGENCE ASYMPTOTE ออกจากศูนย์กลางได้ 2 เส้น และลากตัดกับ CONVERGENCE ASYMPTOTE ที่จุดกึ่งกลางของ NEUTRAL POINT



3.3 ถ้า CYCLONE หลายตัวที่ใกล้ๆ กัน CONVERGENCE ASYMPTOTE เส้นหนึ่งที่ลากออกมาจากศูนย์กลางของ CYCLONE อาจแยกออกเป็น CONVERGENCE ASYMPTOTE หลายเส้น โดยแต่ละเส้นที่แยกออกไปจะเชื่อมกับศูนย์กลางของ CYCLONE อีกตัวหนึ่ง

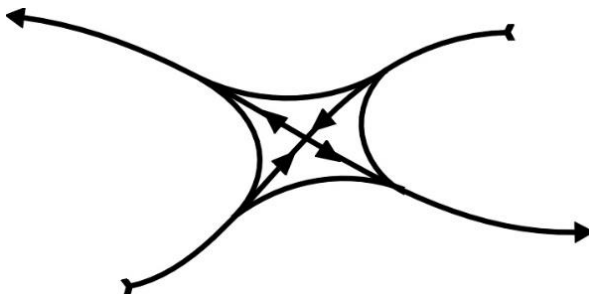


3.4 ถ้า ANTICYCLONE หลายๆ ตัวอยู่ใกล้ๆ กัน DIVERGENCE ASYMPTOTE เส้นหนึ่งที่ลากออกมาจากศูนย์กลางของ ANTICYCLONE อาจแยกออกเป็น DIVERGENCE ASYMPTOTE หลายเส้น แต่ละเส้นที่แยกออกไปจะเชื่อมกับศูนย์กลางของ ANTICYCLONE อีกตัวหนึ่ง

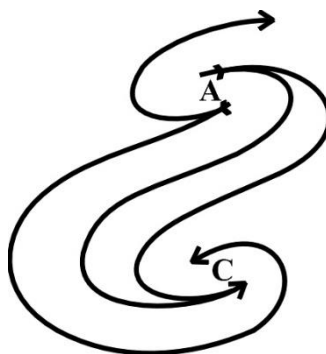


3.5 จะลาก CONVERGENCE ASYMPTOTE ก่อน หรือ DIVERGENCE ASYMPTOTE ก่อนก็ได้ แล้วแต่จะวิเคราะห์ศูนย์กลางของ CYCLONE หรือ ANTICYCLONE ได้ก่อน

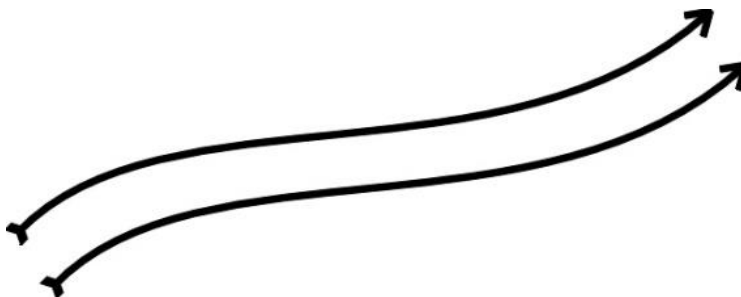
3.6 บริเวณที่เส้น CONVERGENCE ASYMPTOTE และ DIVERGENCE ASYMPTOTE ตัดกัน ให้สร้างพื้นที่เป็นรูปอานม้า โดยลากเส้นลายกระแสดตามลมออกจาก DIVERGENCE ASYMPTOTE เข้าไป CONVERGENCE ASYMPTOTE พื้นที่อานม้าที่ได้คือ NEUTRAL POINT เป็นบริเวณพื้นที่แคบๆ (อย่าสร้างให้ใหญ่)



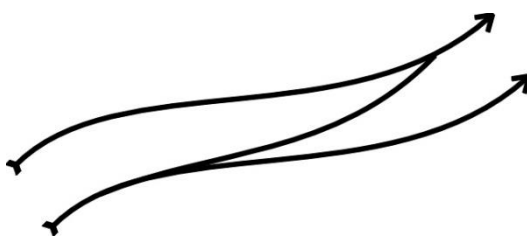
3.7 ลากเส้นลายกระแสดออกจากศูนย์กลางของ ANTICYCLONE โดยแยกออกมาจาก DIVERGENCE ASYMPTOTE ลากตามทิศทางของศรลมไปสู่ศูนย์กลางของ CYCLONE โดยเข้าไปบรรจบกับ CONVERGENCE ASYMPTOTE



3.8 เส้นลวยกระแสที่ไม่ได้แยกออกมาจาก DIVERGENCE ASYMPTOTE ให้ลากไปตามทิศทางของ ครลม



3.9 เส้นลวยกระแสที่ไม่ใช่ DIVERGENCE ASYMPTOTE หรือ CONVERGENCE ASYMPTOTE จะลากเส้นแยกออกจากเส้นหนึ่งไปเข้าอีกเส้นหนึ่ง ไม่ได้

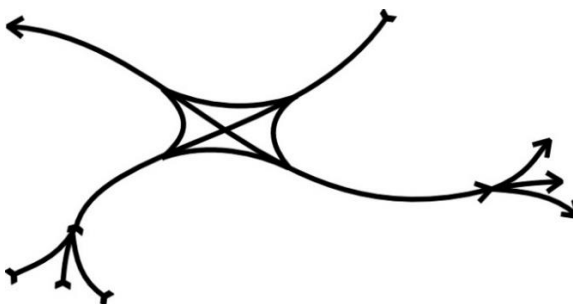


ผิด

3.10 บนเส้น DIVERGENCE ASYMPTOTE จะลากเส้นลวยกระแสแยกออกไปได้

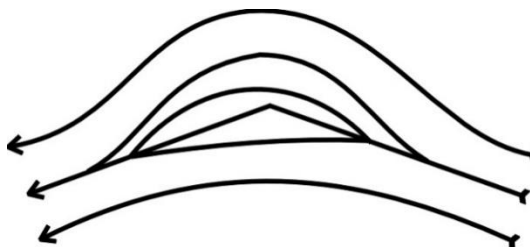
3.11 บนเส้น CONVERGENCE ASYMPTOTE จะลากเส้นลวยกระแสเข้ามารวมกันได้

3.12 จะลากเส้นลวยกระแสแยกออกจาก CONVERGENCE ASYMPTOTE หรือลากเส้นลวยกระแสมารวมกันบนเส้น DIVERGENCE ASYMPTOTE ไม่ได้

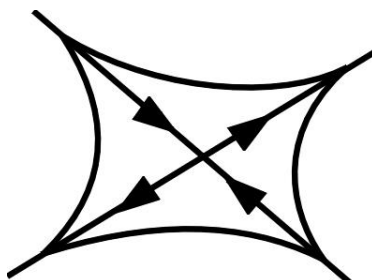


ผิด

3.13 บริเวณ SIMPLE CUSP ซึ่งเป็นบริเวณที่เส้นลายกระแสลากเป็นคลื่น CONVERGENCE หรือ DIVERGENCE ASYMPTOTE จะลากมาพบกันที่จุดกึ่งกลางของ SIMPLE CUSP CONVERGENCE ASYMPTOTE และ DIVERGENCE ASYMPTOTE จะพบกันได้ทั้งที่จุดกึ่งกลางของ SIMPLE CUSP และจุดกึ่งกลางของ NEUTRAL POINT เท่านั้น

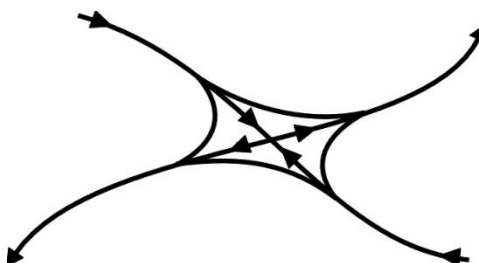


3.14 ให้เขียนลูกศรแสดงทิศทางลมบนเส้นลายกระแสทุกเส้น อย่างน้อยที่ปลายทั้งสองข้างของเส้นที่จุดกึ่งกลางของ NEUTRAL POINT เขียนคร่อมบนเส้น CONVERGENCE ASYMPTOTE แสดงถึงลมพบกันบนเส้น DIVERGENCE ASYMPTOTE แสดงถึงลมแยกออกจากกัน

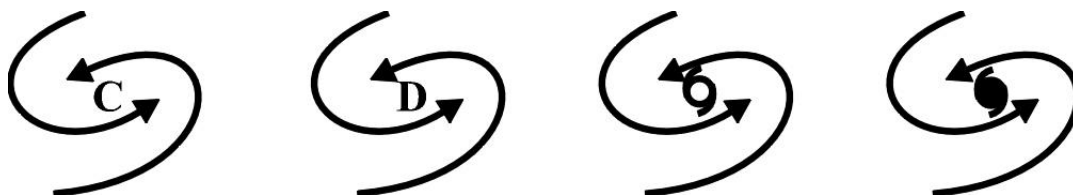


3.15 การลงสีเส้นลายกระแสจะลากด้วยเส้นสีดำทึบ ยกเว้น

- CONVERGENCE ASYMPTOTE จะลากด้วยสีแดง
- DIVERGENCE ASYMPTOTE จะลากด้วยสีน้ำเงิน



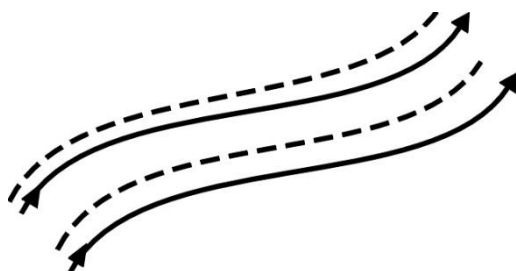
3.16 ให้เขียนอักษร “C” ที่ศูนย์กลางของ CYCLONE และ อักษร “A” ที่ศูนย์กลางของ ANTICYCLONE ถ้า CYCLONE มีความรุนแรงเป็นพายุหมุนเขตร้อนให้ใช้สัญลักษณ์ของพายุหมุนเขตร้อนแทนอักษรตามขั้นความรุนแรงของพายุ



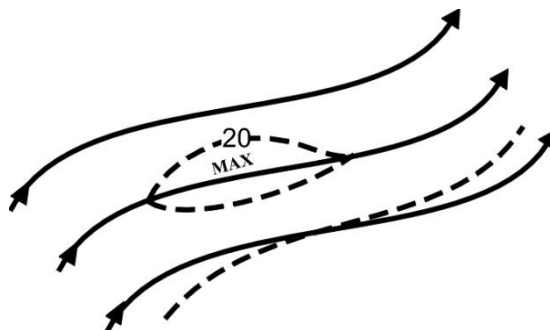
4. การวิเคราะห์เส้นความเร็วลมเท่า (ISOTACHS ANALYSIS)

4.1 ลากผ่านตำบลหรือสถานที่ที่มีความเร็วลมเท่ากันห่างกันเส้นละ 5 นอต ยกเว้นบริเวณพายุหมุนเขตร้อน ซึ่งมีลมแรงสูงสุดใกล้จุดศูนย์กลาง อาจจะลากห่างกันเส้นละ 5 นอตไม่ได้ก็ให้ลากห่างกันเส้นละ 10 หรือ 20 นอต แล้วแต่ความเหมาะสมที่จะลากได้

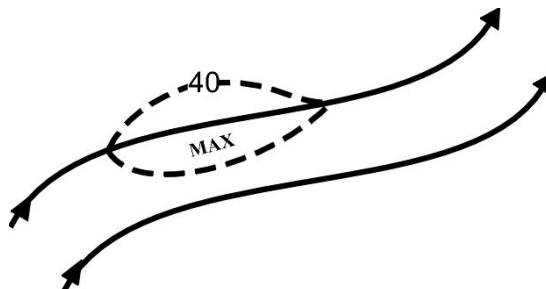
4.2 ลากไปตามเส้นลายกระแส ขนานกันโดยประมาณ



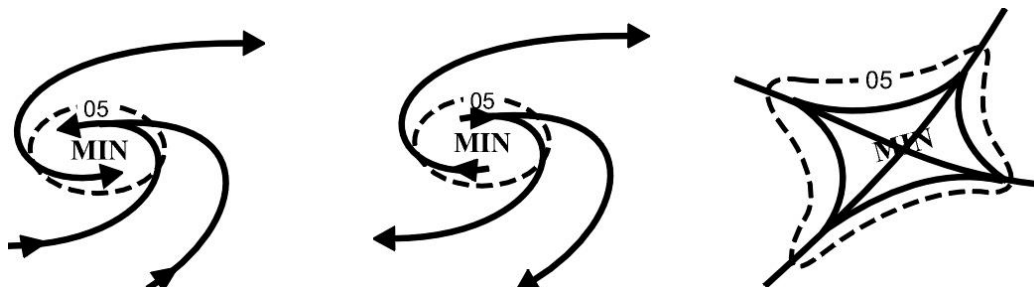
4.3 ถ้าต้องการลากตัดกับเส้นลายกระแสจะต้องลากตัดเป็นมุมแหลมที่สุด หรือไม่เกิน 45 องศา



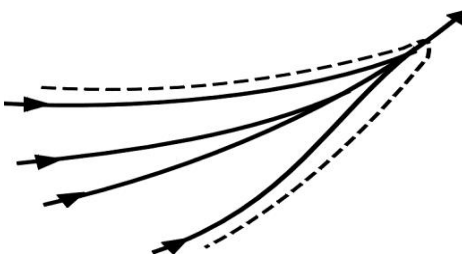
4.4 บริเวณลมแรงที่สุดให้เขียนเส้นความเร็วลมเท่าล้อมรอบ ให้โป่งออกทางด้านข้างของเส้นลายกระแสและแหลมที่ส่วนปลายทั้ง สองข้าง หรือมีลักษณะเป็นรูปเลนส์



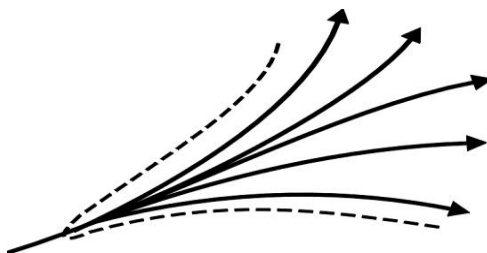
4.5 บริเวณที่ลมอ่อนความเร็ว 5 นอต หรือต่ำกว่าให้ลากล้อมรอบเป็นวงกลม เช่น บริเวณศูนย์กลางของ CYCLONE และ ANTICYCLONE แต่บริเวณ NEUTRAL POINT นิยมลากตามเส้นลายกระแสที่ปิด NEUTRAL POINT จึงมีลักษณะคล้ายอานม้า



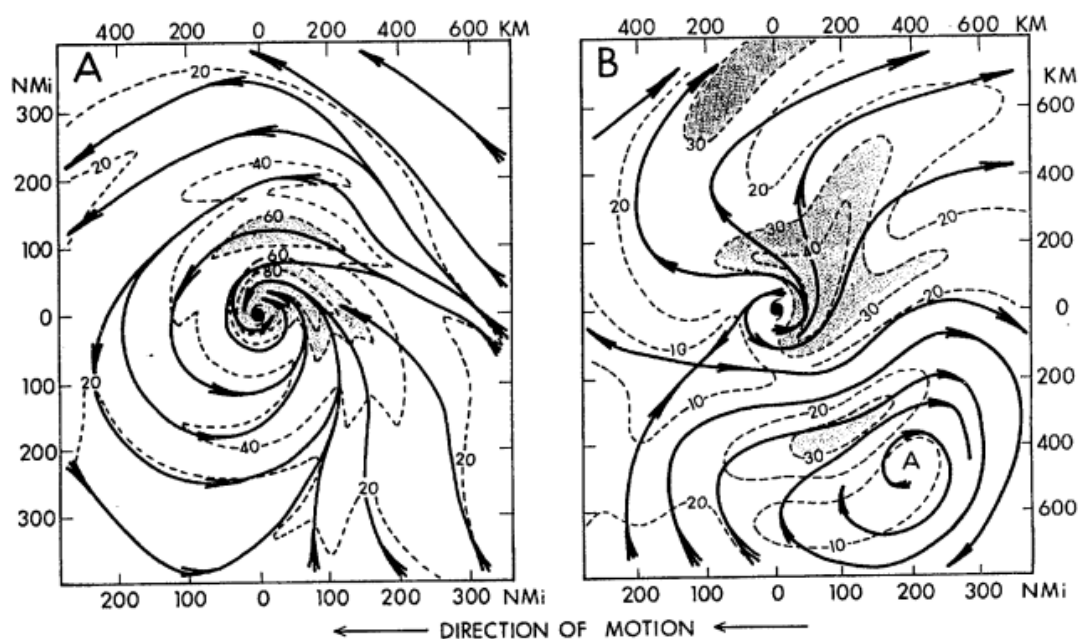
4.6 บริเวณแนวลมพัดสอบเข้าหากัน และทางด้านต้นลมเส้นความเร็วลมเท่าจะหักเป็นมุมหรือมลเป็นส่วนโค้งไปข้างหน้า



4.7 บริเวณลมแยกออกจากกัน และด้านปลายลม เส้นความเร็วลมเท่าจะลากให้หักเป็นมุมหรือมลเป็นส่วนโค้งไปข้างหลัง



4.8 บริเวณศูนย์กลางของพายุหมุนเขตร้อนถ้าไม่สามารถลากบริเวณลมอ่อนได้ เนื่องจากมีพื้นที่เล็กมาก และลมที่พัดรอบๆ ศูนย์กลางแรงมาก เส้นความเร็วลมเท่าจะลากในลักษณะเป็นตัว “ลูกน้ำ” (COMMA) โดยมีหัวของลูกน้ำอยู่ใกล้ ๆ กับศูนย์กลางของพายุ



หมายเหตุ รายละเอียดรูปแบบเส้นความเร็วลมเท่าศึกษาเพิ่มเติมในบทที่ 2
