บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงข้อมูลจากการศึกษาเอกสารและงานวิจัย ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย ประกอบด้วยข้อมูล 3 ส่วน ได้แก่ การศึกษากระแสลมในธรรมชาติ การศึกษากระแสลมกับการระบายอากาศ โดยในแต่ละส่วนมีรายละเอียด ดังนี้

ส่วนที่ 1 การศึกษากระแสลมในธรรมชาติประกอบด้วยการศึกษาทฤษฎีการเกิดลมและการเคลื่อนที่ของลม การศึกษาลมสำคัญในประเทศไทย และการศึกษาลมประจำถิ่นสำหรับพื้นที่ในภาคต่างๆของประเทศไทย เป็นการศึกษาพฤติกรรมของกระแสลมในธรรมชาติเบื้องต้น เพื่ออธิบายลักษณะของกระแสลมที่เกิดขึ้นในประเทศไทยและเป็นพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์ลมประจำถิ่นของพื้นที่ในภาคต่างๆของประเทศไทย ซึ่งเป็นลมที่ใช้ประโยชน์สำหรับการระบายอากาศธรรมชาติภายในอาคาร

ส่วนที่ 2 การศึกษากระแสลมกับการระบายอากาศ ประกอบด้วย การศึกษาหน้าที่ของการระบาย การศึกษาการระบายอากาศธรรมชาติ การศึกษารูปแบบการไหลเวียนของอากาศผ่านอาคารและการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการไหลของอากาศในอาคาร การศึกษาในส่วนนี้นอกจากจะทำให้เห็นถึงความสำคัญของกระแสลมต่อการระบายอากาศแล้วยังทำให้ทราบถึงวิธีการใช้ประโยชน์จากกระแสลมเพื่อปรับทิศทางและคุณสมบัติของลมให้มีประสิทธิภาพในการระบายอากาศสูงสุด โดยอาศัยปัจจัยส่วนประกอบทางสถาปัตยกรรมเป็นหลัก

ส่วนที่ 3 การศึกษาการระบายอากาศในโรงพยาบาล ประกอบด้วย การศึกษาถึงองค์ประกอบขององค์กร การศึกษาลักษณะของหอผู้ป่วยโรงพยาบาล การศึกษาหลักเกณฑ์การระบายอากาศในโรงพยาบาล และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศในโรงพยาบาล

ข้อมูลจากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยทั้งหมดนี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญที่จะทำให้ทราบถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการวิจัย ขอบเขตของการวิจัย และการกำหนดตัวแปรในการวิจัย

2.1 กระแสลมในธรรมชาติ

ลม (wind) คือ อากาศที่มีการเคลื่อนที่ที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการทางอุทกอุตุนิยมวิทยา (Hydro meteorological) โดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อการเปลี่ยนแปลง การเคลื่อนไหว การผสมผสานของความร้อนเย็น ความกดอากาศ การระเหยของน้ำ ความชื้นในอากาศ และการเกิดฝนในที่ต่างๆ (กีรติ ลีวัจนกุล, 2543:2-78)

ความเร็วลม เป็นปริมาณเวกเตอร์ (vector) มีทั้งขนาดและทิศทาง โดยขนาดของความเร็วลม (wind speed) ปกติจะมีหน่วยเป็น ft/s (feet per second), mi/hr (miles per hour), m/s (meters per second), km/hr (kilometers per hour) และ kn (knots)

ทิศทางลม อาจเรียกชื่อตามทิศต่างๆ ของเข็มทิศ หรือเรียกเป็นองศาจากทิศจริง ปัจจุบันการวัด ทิศลมนิยมวัดทิศลมตามเข็มทิศ และวัดเป็นองศา ถ้าวัดทิศลมด้วยเข็มทิศ เข็มทิศจะถูกแบ่งออกเป็น ทิศใหญ่ๆ 4 ทิศ คือ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก ซึ่งทิศทั้ง 4 ทิศ เมื่อแบ่งย่อยอีกจะเป็น 8 ทิศ โดยจะเพิ่มทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และทิศตะวันออกเฉียงใต้ นอกจากนี้ยัง

สามารถแบ่งจาก 8 ทิศ ให้ย่อยเป็น 16 ทิศ หรือ 32 ทิศ ได้อีก แต่การรายงานทิศนั้น มักนิยมรายงานจำนวนทิศเพียง 8 หรือ 16 ทิศ เท่านั้น

ลักษณะลม นิยมบอกเป็นตัวเลข เรียกว่า มาตราลมของ โบฟอร์ด (Beaufort wind scale) ดังตารางที่ 2.1 ซึ่งตัวเลข Beaufort จะบอกถึงความเร็วลม ชื่อลม ลักษณะทะเล ลักษณะบนแผ่นดิน ทำให้สามารถใช้ในการประมาณการความเร็วลมที่เกิดขึ้นโดยไม่ต้องมีเครื่องวัดลมจึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง

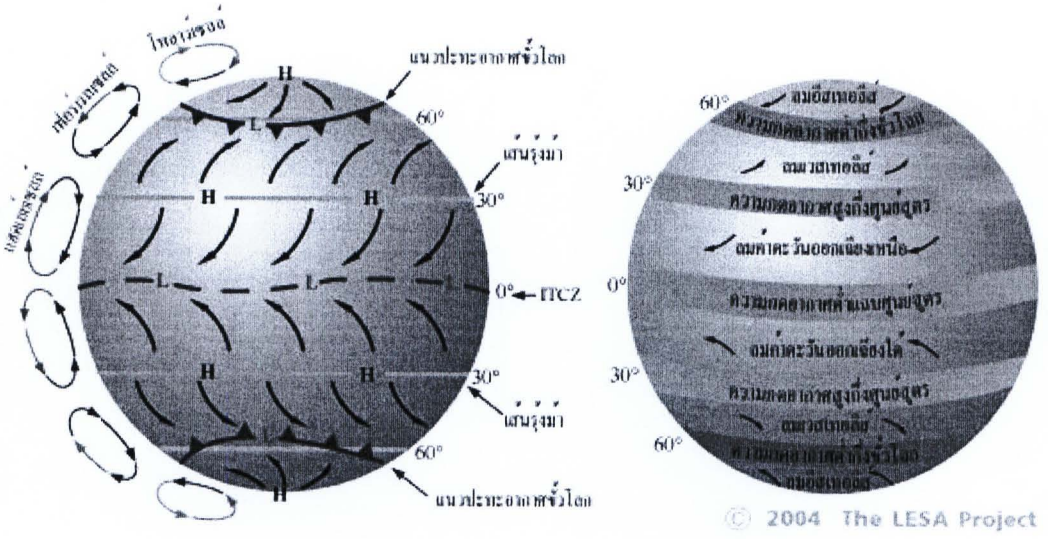
มาตราลมของโบฟอร์ด จะใช้เปรียบเทียบกับสิ่งที่กีดขวางไม่ว่าบนบกและในทะเล โดยสิ่งทีกีดขวางต่างๆ ได้แก่ ใบไม้ กิ่งไม้ สายโทรเลข สายโทรศัพท์ ธง สิ่งปรักหักพังต่างๆ และคลื่นในทะเล เกณฑ์ที่ใช้กำหนดความเร็วลม ได้มาจากการสังเกตกำลังลมเหนือพื้นดินและในทะเล มาตราโบฟอร์ด เริ่มต้นจากมาตราที่ 0 ไปจนถึงมาตราที่ 17 (ในตารางนี้จะแสดงถึงมาตราที่ 12) ความเร็วลมจะเพิ่มขึ้นคือ ที่มาตรา 0 จะเป็นเขตลมสงบ ไปจนถึงมาตราที่ 17 ลมมีกำลังแรงจัดกลายเป็นพายุเฮอร์ริเคน

ตารางที่ 2.1 ตัวเลขโบฟอร์ต ความเร็วลม ชื่อลม ลักษณะทะเล และลักษณะบนแผ่นดิน

ตัวเลข Beaufort	ความเร็วลม kmph	mph	knots	ชื่อลม	ลักษณะทะเล	ลักษณะบนแผ่นดิน
0	มากกว่า 1	มากกว่า 1	มากกว่า 1	ลมสงบ(calm)	ทะเลเรียบ	สงบนิ่ง ไม่มีการเคลื่อนไหวของใบไม้ ควันลอยขึ้นตรงๆ
1	1 ถึง 5	1 ถึง 3	1 ถึง 3	ลมเบา(light air)	น้ำกระเพื่อมเล็กน้อย	ใบไม้ไหวเล็กน้อย ควันลอยตามลม แต่ศรลม(wind vane)ไม่หมุนตามทิศทางที่ลมพัด
2	6 ถึง 11	4 ถึง 7	4 ถึง 6	ลมอ่อน (light breeze)	น้ำทะเลมีคลื่นลมเล็กๆ มองเห็นยอดคลื่นที่ไม่แตกตัว	ใบไม้ไหวและศรลมเริ่มหมุนวัดทิศทางลมได้
3	7 ถึง 19	8 ถึง 12	7 ถึง 10	ลมโชย (gentle breeze)	น้ำทะเลมีคลื่นโตขึ้น มองเห็นยอดคลื่นแตกเป็นฟอง	ใบไม้และกิ่งไม้เล็กๆเคลื่อนไหว ธงบนยอดเสาเริ่มปลิว
4	20 ถึง 29	13 ถึง 18	11 ถึง 16	ลมปานกลาง (moderate breeze)	คลื่นขนาดเล็กแต่มีความยาวคลื่นมากขึ้น	กิ่งไม้ขนาดเล็กเคลื่อนไหว มีฝุ่นกระดาษและใบไม้แห้งปลิว
5	30 ถึง 38	19 ถึง 24	17 ถึง 21	ลมเฉื่อยค่อนข้างแรง (fresh breeze)	ทะเลมีคลื่นปานกลาง น้ำมีการกระเพื่อมและมีฟองสีขาวโดยทั่วไป	ต้นไม้ขนาดเล็กและกิ่งไม้เอนไปตามลม น้ำในแผ่นดินที่อยู่ตามแม่น้ำลำธารเริ่มมีคลื่นน้ำ
6	39 ถึง 49	25 ถึง 31	22 ถึง 27	ลมแรง (strong breeze)	ทะเลมีคลื่นขนาดใหญ่ มองเห็นยอดคลื่นโดยทั่วไป และมีการแตกตัวบ้าง	กิ่งไม้ขนาดใหญ่เอนไปมา ได้ยินเสียงหวีดตามสายโทรศัพท์ และใช้ร่มลำบาก
7	50 ถึง 61	32 ถึง 38	28 ถึง 33	ลมค่อนข้างจัด (moderate or near gale)	ทะเลมีคลื่นจัด ยอดคลื่นสูงตามทิศทางลม	ต้นไม้ทั้งหมดมีการเอนตัวตามลมพัดและเป็นการยากที่จะเดินทวนทิศทางที่ลมพัด
8	62 ถึง 74	39 ถึง 46	34 ถึง 40	ลมจัด(fresh gale or gale)	ทะเลมีคลื่นที่มีความยาวคลื่นมากและมีความสูงคลื่นปานกลาง ยอดคลื่นมีการแตกตัว	กิ่งไม้ขนาดเล็กหัก เดินทวนลมยากมาก ยวดยานพาหนะเริ่มสั่นตามลม
9	75 ถึง 87	47 ถึง 54	41 ถึง 47	ลมจัดมาก(strong gale)	ทะเลมีคลื่นสูง ยอดคลื่นแตกตัวและทะเลเริ่มเป็นระลอกขนาดใหญ่ ทัศนะวิสัยลดลง	สิ่งก่อสร้างที่ไม่แข็งแรงได้รับความเสียหาย เช่น หลังคาบ้านเริ่มปลิว
10	88 ถึง 101	55 ถึง 63	48 ถึง 55	พายุ(strom or whole gale)	ทะเลมีคลื่นสูงมากและเป็นคลื่นขนาดใหญ่ ท้องทะเลเป็นระลอก และมีฟองปกคลุมโดยทั่วไป ทัศนะวิสัยลดลง	ต้นไม้ถูกถอนรากถอนโคน สิ่งก่อสร้างได้รับความเสียหาย
11	102 ถึง 116	64 ถึง 73	56 ถึง 63	พายุใหญ่(strom or violent strom)	คลื่นขนาดใหญ่ในทะเลมีการแตกตัว เรือขนาดเล็กและขนาดกลางอับปาง	เกิดความเสียหายเป็นบริเวณกว้าง
12	มากกว่า117	มากกว่า74	มากกว่า64	พายุไต้ฝุ่นหรือพายุเฮอร์ริเคน(typhoon or hurricane)	ทะเลปั่นป่วนมาก ทัศนะวิสัยเลวมาก	เกิดความเสียหายเป็นบริเวณกว้างและรุนแรงมาก

2.1.1 ทฤษฎีการเกิดและการเคลื่อนที่ของกระแสลม

บรรยากาศที่ห่อหุ้มโลกอยู่มีการเคลื่อนไหวและหมุนเวียนอยู่เสมอ การหมุนเวียนของบรรยากาศมีทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง การหมุนเวียนของบรรยากาศในแนวราบตามผิวโลก เรียกว่า ลม แต่การหมุนเวียนอย่างรวดเร็วและรุนแรง เรียกว่า พายุ ส่วนการหมุนเวียนของบรรยากาศในแนวตั้งกรณีเคลื่อนขึ้น เรียกว่า ดึงขึ้น (updraft) ส่วนกรณีเคลื่อนลงเรียกว่า ดึงลง (down draft) (ประเสริฐ วิทยรัฐ,2545:71)

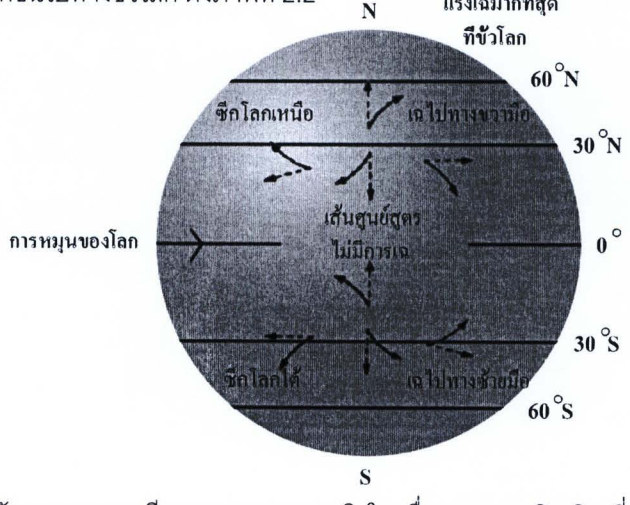


ภาพที่ 2.1 แสดงลักษณะการหมุนเวียนของบรรยากาศโลกซึ่งทำให้เกิดลมประจำปี (ที่มา: กีรติ ลีวัจนกุล, 2543:2-99)

ลักษณะการเคลื่อนไหวของบรรยากาศ จะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความแตกต่างของความกดอากาศ ความลาดชันของความกดอากาศ แรงคอริออลิส (coriolis force) และแรงเสียดทาน (friction force)

พื้นผิวโลกบริเวณต่างๆจะมีความกดอากาศที่แตกต่างกันได้เนื่องจากระดับความสูง และสภาพแผ่นดินและพื้นที่น้ำที่แตกต่างกัน ความกดอากาศที่แตกต่างกันจะทำให้เกิดการถ่ายเทของอากาศ จากบริเวณที่มีความกดอากาศสูง ไหลไปสู่บริเวณความกดอากาศต่ำ เกิดลมพัด ความแตกต่างของความกดอากาศสูงและต่ำและระยะห่างของตำแหน่งของความกดอากาศทั้งสองทำให้เกิดความลาดชันของความกดอากาศ หากมีความแตกต่างของความกดอากาศมาก และระยะห่างของตำแหน่งความกดอากาศไม่มาก จะทำให้มีความลาดชันของความกดอากาศมาก ลมจะการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วและรุนแรง จนเกิดเป็นพายุได้

การหมุนรอบตัวเองของโลก ทำให้เกิดแรงที่เรียกว่า แรงคอริออลิส ซึ่งมีผลทำให้การเคลื่อนที่ของลมมีทิศทางเบี่ยงเบนไป ทิศทางของการเบี่ยงเบนของลมได้กล่าวไว้เป็นกฎโดยเฟอร์เรล (Ferrel) ว่า วัตถุหรือของไหลใดๆ ที่เคลื่อนที่ในแนวราบทางซีกโลกเหนือจะเบี่ยงเบนไปทางขวาเมื่อหันหน้าไปตามเส้นทางการเคลื่อนที่ ส่วนในซีกโลกใต้จะเบี่ยงเบนไปทางซ้าย ทั้งนี้ไม่ว่าการเคลื่อนที่ไปทางทิศใด แรงคอริออลิสนี้จะไม่ปรากฏที่ศูนย์สูตร แต่จะเพิ่มมากขึ้นไปทางขั้วโลก ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 แสดงลักษณะการหมุนเวียนของบรรยากาศบนผิวโลกเนื่องจากแรงคอริออลิส (ที่มา: ประเสริฐ วิทยรัฐ, 2545:72)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย

นอกจากนี้ลักษณะภูมิประเทศ และลักษณะผิวของพื้นโลก ยังทำให้เกิดแรงต้านทานระหว่างลมกับบริเวณที่ลมพัดผ่าน ในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางที่ลมพัดผ่าน ซึ่งจะทำให้ความเร็วลมลดลง เรียกว่า แรงเสียดทาน โดยถ้าลมพัดผ่านบริเวณพื้นที่ราบหรือผิวน้ำ จะเกิดแรงเสียดทานน้อย ทำให้ลมพัดแรง และลมที่พัดในที่สูงจะพัดแรงกว่าลมที่พัดผ่านพื้นที่ผิวโลก ซึ่งพื้นผิวที่เกิดแรงเสียดทานจะสูงจากผิวโลกไม่เกิน 500 เมตร

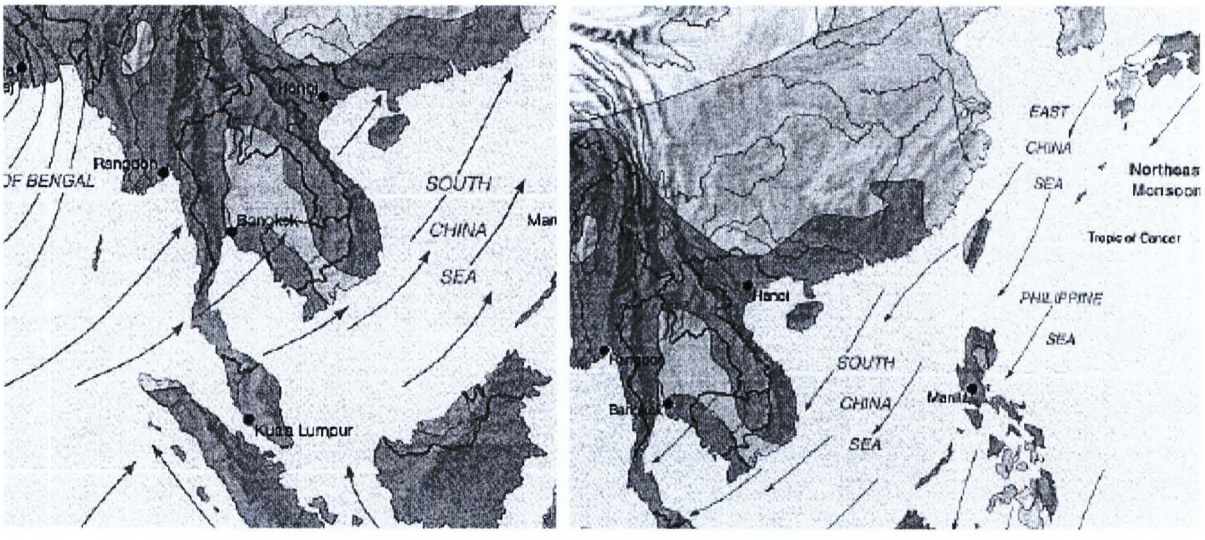
2.1.2 ลมสำคัญในประเทศไทย

หลักเกณฑ์ที่อธิบายมาตอนต้น นำมาอธิบายกับลมสำคัญต่างๆในประเทศไทย ดังนี้

2.1.2.1 ลมมรสุม (Monsoon)

ลมมรสุม หมายถึง ลมที่พัดเปลี่ยนทิศทางกับการเปลี่ยนฤดู คือฤดูร้อนจะพัดอยู่ในทิศทางหนึ่ง และจะพัดเปลี่ยนทิศทางในทางตรงกันข้ามในฤดูหนาว (กีรติ ลีวัจนกุล, 2543:2-109) การเปลี่ยนแปลงลักษณะอากาศของประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ดังนี้

พื้นที่ส่วนใหญ่ทางตอนเหนือของทวีปเอเชียเป็นพื้นดิน ส่วนตอนใต้เป็นพื้นน้ำ ดังนั้นในฤดูร้อนพื้นดินของทวีปเอเชียมีอุณหภูมิสูงจึงเป็นศูนย์กลางของความกดอากาศต่ำ ขณะที่พื้นน้ำอุณหภูมิต่ำกว่าจึงมีความกดอากาศสูงกว่า ดังนั้นจึงเกิดลมจากพื้นน้ำเคลื่อนเข้าสู่พื้นดินและนำเอาความชื้นจากพื้นน้ำเข้ามาด้วย เรียกว่า ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ มรสุมดังกล่าวจะมีอิทธิพลอยู่ตั้งแต่เดือนพฤษภาคมไปจนกระทั่งสิ้นเดือนกันยายนโดยประมาณ ทิศทางลมโดยรอบๆ จะมาจากทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ ช่วงอิทธิพลของมรสุมนี้จะมีฝนตกเกือบทุกพื้นที่ในประเทศไทย หรือเป็นที่ทราบกันว่าเป็นช่วงฤดูฝน



ภาพที่ 2.3 แสดงลักษณะลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้(ภาพซ้าย)และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ(ภาพขวา)

(ที่มา: Jitkhajornwanich, cited in Sutthipong Boonyou,1999:6)

เมื่อสิ้นฤดูร้อนแสงตั้งฉากของดวงอาทิตย์ได้เคลื่อนไปอยู่ทางใต้ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพื้นน้ำ ขณะเดียวกันพื้นดินของทวีปเอเชียได้รับแสงเฉียงและระยะเวลากลางวันสั้นทำให้อุณหภูมิบริเวณพื้นดินส่วนใหญ่ต่ำ พื้นดินของทวีปเอเชียจึงมีความกดอากาศสูง ทำให้เกิดลมเคลื่อนที่จากพื้นดินไปสู่พื้นน้ำ เรียกว่า ลม

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 29 พ.ค. 2555
เลขทะเบียน 246251

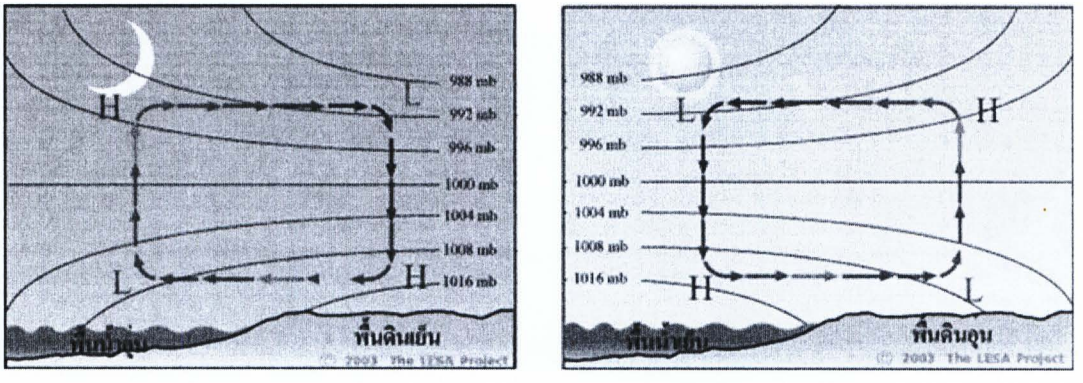
มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นลมที่เคลื่อนที่จากพื้นดินไม่มีความชื้นจึงทำให้พื้นที่ส่วนใหญ่ของเอเชียแห้งแล้ง เว้นแต่บางบริเวณที่เมื่อลมพัดออกจากพื้นดินแล้วผ่านทะเลเข้าสู่พื้นดินอีก จึงมีความชื้นเข้ามาและทำให้เกิดฝนตก เช่น บริเวณภาคใต้ฝั่งตะวันออกของประเทศไทย นอกจากนั้นลมที่พัดออกมาจากพื้นดิน นอกจากแห้งแล้งแล้วยังนำความหนาวเย็นมาด้วย ดังนั้นประเทศไทยมักจะมีอากาศหนาวเย็นบางส่วนแผ่เข้ามาเป็นระลอก มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจะมีอิทธิพลอยู่ระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมีนาคม แต่สำหรับประเทศไทยจะมีอิทธิพลอยู่แค่เดือนกุมภาพันธ์ ถัดจากนั้นอิทธิพลของอากาศท้องถิ่นจะเข้ามามีบทบาทแทน

2.1.2.2 **ลมประจำถิ่น** (Local wind)

ลมประจำถิ่น คือ ลมที่พัดเป็นประจำในท้องถิ่นต่างๆ (กีรติ ลีวัจนกุล, 2543:2-109) ประกอบด้วย

1. **ลมบกและลมทะเล** (Land and sea breeze) คือ ลมที่เกิดขึ้นบริเวณชายฝั่งทะเล เป็นลมประจำถิ่นที่เกิดขึ้นทุกวัน เนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิและความดันของอากาศเหนือพื้นดินและเหนือพื้นน้ำ (กีรติ ลีวัจนกุล, 2543:2-109)

ลมทะเล เกิดขึ้นในฤดูร้อนตามชายฝั่งทะเล ในเวลากลางวันเมื่อพื้นดินได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์จะมีอุณหภูมิสูงกว่าพื้นน้ำ และอากาศเหนือพื้นดินเมื่อได้รับความร้อนจะขยายตัวลอยสู่เบื้องบน อากาศเหนือพื้นน้ำซึ่งเย็นกว่าจะไหลเข้าไปแทนที่เกิดลมจากทะเลพัดเข้าหาฝั่งเรียกว่าลมทะเล ดังภาพที่ 2.4 (ภาพขวา) ซึ่งจะเริ่มพัดในเวลาประมาณ 10.00 น. ลมทะเลสามารถพัดเข้าหาฝั่งมีระยะไกลถึง 16-48 กิโลเมตร และความแรงของลมจะลดลงเมื่อเข้าถึงฝั่ง โดยมีกำลังแรงสุดในตอนบ่าย และสิ้นสุดลงเมื่อดวงอาทิตย์ตก ประมาณเวลา 21.00 น. ลมทะเลมีความสำคัญต่ออุณหภูมิของอากาศในบริเวณชายฝั่ง ทำให้อุณหภูมิของอากาศลดลง



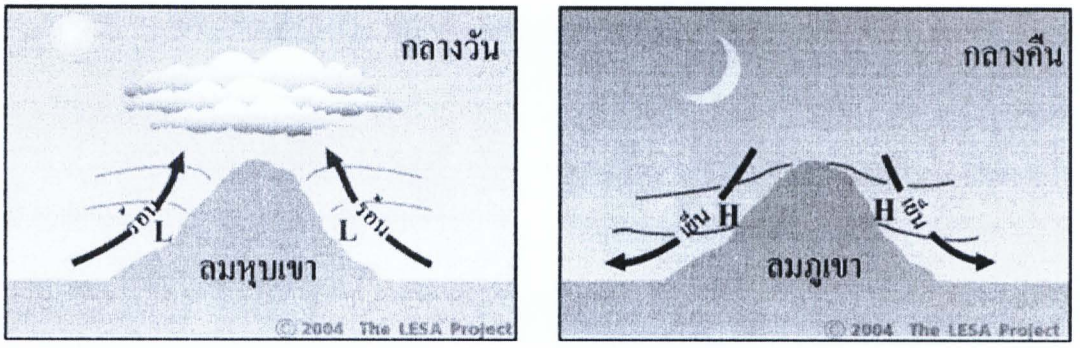
ภาพที่ 2.4 แสดงลักษณะการเกิดลมบก(ภาพซ้าย)และลมทเล(ภาพขวา) (ที่มา กีรติ ลีวัจนกุล, 2543:2-110)

ลมบก เกิดขึ้นในเวลากลางคืน เมื่อพื้นดินคายความร้อนโดยการแผ่รังสีออกจะคายความร้อนออกได้เร็วกว่าพื้นน้ำ ทำให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าพื้นน้ำอากาศเหนือพื้นน้ำซึ่งร้อนกว่าพื้นดินจะลอยตัวขึ้นสู่เบื้องบน อากาศเหนือพื้นดินซึ่งเย็นกว่าจะไหลเข้าไปแทนที่เกิดเป็นลมพัดจากฝั่งไปสู่ทะเลเรียกว่า ลมบก ดังภาพที่ 2.4 (ภาพซ้าย) ซึ่งลมบกจะมีความแรงของลมอ่อนกว่าลมทะเล จึงไม่สามารถพัดเข้าสู่ทะเลได้ระยะทางไกล

เหมือนทะเล โดยลมบกสามารถพัดเข้าสู่ทะเลมีระยะทางเพียง 8-10 กิโลเมตร ลมชนิดนี้จะพัดตั้งแต่เวลา 22.00 น. จนกระทั่งถึงเวลา 10.00 น.ของวันรุ่งขึ้น

2. **ลมภูเขาและลมหุบเขา** (Mountain and valley breeze) คือ ลมที่เกิดขึ้นบริเวณยอดเขาและหุบเขาเป็นลมประจำถิ่นที่เกิดขึ้นทุกวัน เนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิและความดันของอากาศบริเวณภูเขาและหุบเขา (กีรติ ลีวัจนกุล, 2543:2-111)

ลมหุบเขา เกิดขึ้นในเวลากลางวัน คือ อากาศตามภูเขาและลาดเขาร้อนเพราะได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์เต็มที่ ส่วนอากาศที่หุบเขาเบื้องล่างมีความเย็นกว่าจึงไหลเข้าแทนที่ ทำให้มีลมเย็นจากหุบเขาเบื้องล่างพัดไปตามลาดเขาขึ้นสู่เบื้องบน ดังภาพที่ 2.5 (ภาพซ้าย)



ภาพที่ 2.5 แสดงลักษณะการเกิดลมลมหุบเขา(ภาพซ้าย)และลมภูเขา(ภาพขวา) (ที่มา กีรติ ลีวัจนกุล, 2543:2-111)

ลมภูเขา เกิดขึ้นในเวลากลางคืน อากาศตามภูเขาและลาดเขาจะเย็นลงอย่างรวดเร็วด้วยการคายความร้อนออก อากาศตามลาดเขาที่เย็นและหนักกว่าอากาศบริเวณใกล้เคียงจึงไหลออกมาทำให้มีลมพัดมาตามลาดเขาสู่หุบเขาเบื้องล่างเรียกว่า ลมภูเขา ดังภาพ 2.5 (ภาพขวา)

3. **ลมประจำถิ่นอื่น ๆ**

คือลมที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาต่างๆ ของช่วงปี ซึ่งมี ชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามท้องถิ่นต่างๆ ของประเทศไทย แบ่งออกเป็น 5 ชนิด คือ

ลมตะเภา เป็นลมท้องถิ่นในประเทศไทย ที่พัดจากทิศใต้ไปยังทิศเหนือ ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายน ซึ่งเป็นช่วงที่ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเปลี่ยนเป็นลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้เนื่องจากเป็นช่วงฤดูแล้ง พื้นที่ภาคกลางตอนล่าง ตั้งแต่นครสวรรค์จนจรดอ่าวไทยซึ่งเป็นพื้นที่ราบและเป็นช่วงที่แสงแดดส่องตั้งฉากกับบริเวณพื้นที่ส่วนนี้ เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของพื้นดินกับพื้นน้ำมาก เป็นผลให้มีลมพัดจากอ่าวไทยสู่ภาคกลางตอนล่าง เนื่องจากพัดมาจากทางทิศใต้ จึงเรียกว่าลมฝ่ายใต้ ซึ่งในสมัยโบราณลมนี้จะช่วยพัดเรือสำเภาซึ่งเข้ามาค้าขายให้แล่นไปตามแม่น้ำเจ้าพระยา จึงเรียกลมนี้อีกชื่อหนึ่งว่า ลมตะเภา ส่วนมากลมจะเริ่มพัดตั้งแต่เวลาบ่ายโมงและค่อยๆ แรงขึ้นในเวลา 5 โมงถึง 6โมงเย็น และลมจะพัดไปอย่างสม่ำเสมอจนกระทั่งใกล้กับเวลาเที่ยงคืนจึงสงบ ลมนี้จะนำความชื้นจากอ่าวไทยมาสู่ภาคกลางตอนล่างเป็นจำนวนมาก แต่เนื่องจากอุณหภูมิในช่วงนี้สูงมากจึงไม่มีการเปลี่ยนความชื้นเป็นฝน ยกเว้นในบางปีที่มีสภาพอากาศเหมาะสมอาจเกิดฝนบ่อยครั้งได้ในช่วงเดือนดังกล่าว

ลมว่าว เป็นลมที่พัดจากทิศเหนือไปยังทิศใต้ เกิดระหว่างเดือนกันยายนถึงพฤศจิกายน เป็นลมเย็นที่พัดมาตามลำน้ำเจ้าพระยา และพัดในช่วงที่ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ จะเปลี่ยนเป็นลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ หรืออาจจะเรียกว่า ลมข้าวเบา เพราะพัดในช่วงที่ข้าวกำลังออกรวง

ลมพัทยา เป็นลมที่พัดจากภาคตะวันออกเฉียงใต้ไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ จะเริ่มพัดในต้นฤดูฝนราวเดือนพฤษภาคม ลมชนิดนี้เป็นลมร้อนและชุ่มชื้น

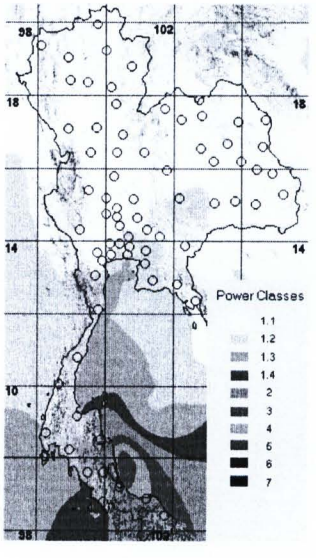
ลมตะโก้ เป็นลมที่พัดจากทิศตะวันออกเฉียงใต้ จะเริ่มพัดในตอนปลายฤดูฝนราวเดือนตุลาคม

ลมอุตรา เป็นลมที่พัดจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือไปยังทิศตะวันออกเฉียงใต้ โดยจะเริ่มพัดในต้นฤดูร้อนราวๆ เดือนมีนาคม โดยจะพัดเป็นครั้งคราวทำให้เกิดฝนตกฟ้าคะนอง อากาศแปรปรวนหลายวัน

จากการศึกษาทฤษฎีการเกิดลมและการเคลื่อนที่ของลมทำให้ทราบกระแสลมเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดจากการหมุนเวียนของบรรยากาศอันเนื่องมาจากความแตกต่างกันของความกดอากาศ แรงคอริออลิส ความลาดชันของความกดอากาศ และแรงเสียดทานของพื้นโลก ซึ่งปัจจัยดังกล่าวทำให้ลมในแต่ละตำแหน่งและแต่ละช่วงเวลาบนโลกมีความแตกต่างกัน สำหรับประเทศไทย การเปลี่ยนแปลงของกระแสลมขึ้นอยู่กับอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และตะวันออกเฉียงเหนือเป็นหลัก แต่กระแสลมอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้อีกเนื่องจากอิทธิพลของลมประจำถิ่น ซึ่งจะมีอิทธิพลมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับภูมิประเทศและสภาพแวดล้อมของแต่ละพื้นที่ด้วย

ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากกระแสลมในธรรมชาติจึงจำเป็นต้องมีการศึกษา วิเคราะห์ลมประจำถิ่นโดยเฉพาะ ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

จากภูมิประเทศของประเทศไทย จะมีความเร็วลมเฉลี่ยของประเทศอยู่ในระดับปานกลาง - ต่ำ มีความเร็วลมเฉลี่ยต่ำกว่า 4 เมตร/วินาที เมื่อเทียบความเร็วลมที่มีในประเทศไทยกับตาราง Power Class พบว่าลมในประเทศไทยส่วนใหญ่อยู่ในระดับที่1.1-1.4 มีเพียงพื้นที่ทางชายฝั่งทะเลภาคใต้ตอนล่างที่อยู่ Power Class ระดับ 2 ดังภาพ



ภาพที่ 2.6 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วลมที่มีในประเทศไทย(ที่มา: "ทิศทางพลังงานไทย" กระทรวงพลังงาน)

2.2 การวิเคราะห์ลมประจำถิ่น

ลมประจำถิ่นมีอิทธิพลต่อการระบายอากาศมากที่สุด การวิเคราะห์ลมประจำถิ่นเป็นรายปี และเฉพาะเป็นเดือนๆ นำไปสู่การวางทิศทางอาคาร ให้ช่องเปิด เปิดรับลมทางทิศที่มีลมพัดและมีช่องทางออกให้เพียงพอ แรงเฉื่อยของการไหลของกระแสลมประจำถิ่น ก็จะทำให้เกิดการพัดผ่านตลอดได้

งานวิจัยนี้อาศัยข้อมูลทุติยภูมิการวิเคราะห์ลมประจำถิ่นจากข้อมูลตรงของกองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา โดยอ้างอิงข้อมูลในส่วนของข้อมูลความเร็วลมแยกตามจังหวัด ได้แก่ ความเร็วลมเฉลี่ย (average wind speed :m/s) ทิศทางลมเด่น (prevailing) ความเร็วลมสูงสุด (maximum speed :m/s) ข้อมูลทั้งหมดมีทั้งที่สรุปเป็นรายเดือนและรายปี

โดยคัดเลือกข้อมูลตัวแทนจังหวัดที่อยู่ในพื้นที่ภาคกลาง พื้นที่ภาคใต้ และพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติ ซึ่งสามารถสรุปความเร็วลมในพื้นที่ภาคต่างๆ ได้ ดังตารางที่ 2.2 ถึง 2.6

ตารางที่ 2.2 แสดงความเร็วลมของจังหวัดในพื้นที่ภาคกลาง (ที่มา: กองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา)

ลม	เดือน												
	มค.	กพ.	มีค.	เมษ.	พค.	มิย.	กค.	สค.	กย.	ตค.	พย.	ธค.	เฉลี่ย
ความเร็วลมเฉลี่ย(m/s)	0.90	2.00	2.80	2.50	1.70	1.80	1.50	1.30	0.70	0.70	0.70	0.80	1.50
ทิศทางลมเด่น	E	S	S	S	S	S	S	S	S	NE	NE	NE	S
ความเร็วลมสูงสุด(m/s)	9.30	12.90	11.80	13.90	11.30	10.30	10.30	10.30	7.70	8.70	7.70	7.20	10.12

จากตารางแสดงความเร็วลมของจังหวัดในพื้นที่ภาคกลาง พบว่า ความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุดมีค่า 2.80 m/s ณ เดือนมีนาคม ความเร็วลมเฉลี่ยต่ำสุดมีค่า 0.70 m/s ณ เดือนกันยายน ถึง เดือนพฤศจิกายน และมีความเร็วลมเฉลี่ยรวมทั้งปี 1.50 m/s ขณะที่ทิศทางลมโดยเฉลี่ยจะพัดมาจากทิศใต้

ความเร็วลมสูงสุดมีค่าสูงสุด 13.90 m/s ณ เดือนเมษายน ความเร็วลมสูงสุดมีค่าต่ำสุด 7.20 m/s ณ เดือนธันวาคม และมีความเร็วลมสูงสุดเฉลี่ยทั้งปี 10.12 m/s

ตารางที่ 2.3 แสดงความเร็วลมของจังหวัดในพื้นที่ภาคกลาง (ที่มา: กองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา)

ลม	เดือน												
	มค.	กพ.	มีค.	เมษ.	พค.	มิย.	กค.	สค.	กย.	ตค.	พย.	ธค.	เฉลี่ย
ความเร็วลมเฉลี่ย(m/s)	0.60	0.90	1.10	1.10	1.00	1.00	1.10	1.20	0.80	0.60	0.90	0.90	0.90
ทิศทางลมเด่น	NE	SE	SE	W	W	W	W	W	W	NE	NE	NE	W
ความเร็วลมสูงสุด(m/s)	7.20	7.70	8.20	14.40	15.40	8.20	9.80	10.30	8.20	9.30	11.30	8.20	9.85

จากตารางแสดงความเร็วลมของจังหวัดในพื้นที่ภาคกลาง พบว่า ความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุดมีค่า 1.20 m/s ณ เดือนสิงหาคม ความเร็วลมเฉลี่ยต่ำสุดมีค่า 0.60 m/s ณ เดือนมกราคมและเดือนตุลาคม และมีความเร็วลมเฉลี่ยรวมทั้งปี 0.90 m/s ขณะที่ทิศทางลมโดยเฉลี่ยจะพัดมาจากทิศตะวันตก

ความเร็วลมสูงสุดมีค่าสูงสุด 15.40 m/s ณ เดือนพฤษภาคม ความเร็วลมสูงสุดมีค่าต่ำสุด 7.20 m/s ณ เดือนมกราคม และมีความเร็วลมสูงสุดเฉลี่ยทั้งปี 9.85 m/s

ตารางที่ 2.4 แสดงความเร็วลมของจังหวัดในพื้นที่ภาคใต้ (ที่มา: กองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา)

ลม	เดือน												
	มค.	กพ.	มีค.	เมษ.	พค.	มิย.	กค.	สค.	กย.	ตค.	พย.	ธค.	เฉลี่ย
ความเร็วลมเฉลี่ย(m/s)	1.40	1.30	1.20	0.90	1.00	1.20	1.20	1.70	1.20	1.00	1.00	1.40	1.20
ทิศทางลมเด่น	E	E	E	SE,NW	W	W	W	W	W	W	NE	NE	W
ความเร็วลมสูงสุด(m/s)	6.20	7.70	6.20	6.20	12.90	10.30	11.30	10.30	7.70	7.70	7.70	7.70	8.49

จากตารางแสดงความเร็วลมของจังหวัดในพื้นที่ภาคกลาง พบว่า ความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุดมีค่า 1.70 m/s ณ เดือนสิงหาคม ความเร็วลมเฉลี่ยต่ำสุดมีค่า 0.90 m/s ณ เดือนเมษายน และมีความเร็วลมเฉลี่ยรวมทั้งปี 1.20 m/s ขณะที่ทิศทางลมโดยเฉลี่ยจะพัดมาจากทิศตะวันตก

ความเร็วลมสูงสุดมีค่าสูงสุด 12.90 m/s ณ เดือนพฤษภาคม ความเร็วลมสูงสุดมีค่าต่ำสุด 6.20 m/s ณ เดือนมกราคม มีนาคม และเมษายน และมีความเร็วลมสูงสุดเฉลี่ยทั้งปี 8.49 m/s

ตารางที่ 2.5 แสดงความเร็วลมของจังหวัดในพื้นที่ภาคใต้ (ที่มา: กองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา)

ลม	เดือน												
	มค.	กพ.	มีค.	เมษ.	พค.	มิย.	กค.	สค.	กย.	ตค.	พย.	ธค.	เฉลี่ย
ความเร็วลมเฉลี่ย(m/s)	1.10	1.10	1.10	0.80	0.60	0.90	0.90	1.10	0.80	0.60	0.80	1.40	0.90
ทิศทางลมเด่น	NE	NE	S	S	S	SW	SW	SW	SW	NE	NE	NE	NE
ความเร็วลมสูงสุด(m/s)	8.20	7.70	9.30	8.20	8.20	9.30	7.20	8.20	8.20	6.20	15.40	16.80	9.41

จากตารางแสดงความเร็วลมของจังหวัดในพื้นที่ภาคกลาง พบว่า ความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุดมีค่า 1.40 m/s ณ เดือนธันวาคม ความเร็วลมเฉลี่ยต่ำสุดมีค่า 0.60 m/s ณ เดือนพฤษภาคม และเดือนตุลาคม และมีความเร็วลมเฉลี่ยรวมทั้งปี 0.90 m/s ขณะที่ทิศทางลมโดยเฉลี่ยจะพัดมาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

ความเร็วลมสูงสุดมีค่าสูงสุด 16.80 m/s ณ เดือนธันวาคม ความเร็วลมสูงสุดมีค่าต่ำสุด 6.20 m/s ณ เดือนตุลาคม และมีความเร็วลมสูงสุดเฉลี่ยทั้งปี 9.41 m/s

ตารางที่ 2.6 แสดงความเร็วลมของจังหวัดในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ที่มา: กองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา)

	เดือน												
	มค.	กพ.	มีค.	เมษ.	พค.	มิย.	กค.	สค.	กย.	ตค.	พย.	ธค.	เฉลี่ย
ความเร็วลมเฉลี่ย(m/s)	0.50	0.70	0.80	0.80	0.90	1.20	1.20	1.10	0.50	0.60	0.70	0.70	0.80
ทิศทางลมเด่น	NE	NE	S	S	S	SW	SW	SW	SW	NE	NE	NE	NE
ความเร็วลมสูงสุด(m/s)	6.70	7.20	12.90	24.20	12.00	9.30	10.30	10.30	7.20	10.30	9.30	8.20	10.66

จากตารางแสดงความเร็วลมของจังหวัดในพื้นที่ภาคกลาง พบว่า ความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุดมีค่า 1.20 m/s ณ เดือนมิถุนายนและเดือนกรกฎาคม ความเร็วลมเฉลี่ยต่ำสุดมีค่า 0.50 m/s ณ เดือนมกราคม และมีความเร็วลมเฉลี่ยรวมทั้งปี 0.80 m/s ขณะที่ทิศทางลมโดยเฉลี่ยจะพัดมาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

ความเร็วลมสูงสุดมีค่าสูงสุด 24.20 m/s ณ เดือนเมษายน ความเร็วลมสูงสุดมีค่าต่ำสุด 6.70 m/s ณ เดือนมกราคม และมีความเร็วลมสูงสุดเฉลี่ยทั้งปี 10.66 m/s

จากข้อมูลตารางทั้งหมดข้างต้น สรุปได้ว่าว่าความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนจะอยู่ในช่วง 0.50 - 2.80 m/s และความเร็วลมเฉลี่ยทั้งปีจะอยู่ในช่วง 0.80 - 1.50 m/s ขณะที่ทิศทางลมโดยเฉลี่ยจะพัดมาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันวันตกและทิศใต้เป็นหลัก

ในส่วนความเร็วลมสูงสุดรายเดือนจะอยู่ในช่วง 12.90 - 24.20 m/s และความเร็วลมเฉลี่ยทั้งปีจะอยู่ในช่วง 8.49 - 10.66 m/s

2.3 กระแสลมกับการระบายอากาศ

2.3.1 การระบายอากาศ (Ventilation)

การระบายอากาศ คือ การนำอากาศเก่าภายในห้องออกไป และนำอากาศใหม่ซึ่งสดชื่นกว่ามาแทนที่ ซึ่งเป็นกลไกสำคัญในการกำจัดหรือทำให้มลพิษต่างๆที่เกิดขึ้นภายในอาคารเจือจาง (Sutthipong Boonyou,1999:29) มีหน้าที่ 3 ประการ คือ

1. ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนอากาศใหม่

โดยปกติอาคารที่มีการใช้งานอากาศภายในอาคารจะมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์กลิ่นอันไม่พึงประสงค์ และมลพิษต่างๆทั้งสิ่งมีชีวิตที่เป็นพาหะนำโรค ก๊าซพิษ โลหะพิษ มากกว่าอากาศภายนอก ซึ่งอากาศที่ถูกปนเปื้อน สามารถทำให้เกิดปัญหาทางสุขภาพมากกมาย ตั้งแต่ปวดศีรษะคลื่นไส้ วิงเวียน ไปจนถึงเป็นสาเหตุของการเกิดมะเร็งในปอด จึงจำเป็นต้องอาศัยการระบายอากาศเพื่อนำเอาออกซิเจนจากภายนอกอาคารเข้ามาสู่ภายในอาคาร ทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และมลพิษต่างๆ ภายในอาคารเจือจางลง ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนคน กิจกรรม กลิ่น และ ปริมาณสารเป็นพิษ และขนาดของห้อง

2. ทำให้มนุษย์รู้สึกเสมือนหนึ่งว่าอุณหภูมิลดลง

ความเร็วลม (wind speed) ที่ผ่านผู้อยู่อาศัยมีผลกระทบต่อภาวะน่าสบาย ลมจะพัดพาความร้อนรอบตัวออกไปทำให้รู้สึกเย็นขึ้น นอกจากนั้นยังพัดพาเอาความชื้นบริเวณผิวร่างกายซึ่งจะช่วยให้การระเหยของเหงื่อดีขึ้น ร่างกายสูญเสียความร้อนได้ดีขึ้น ทำให้ความรู้สึกเย็นเนื่องจากการระเหยของน้ำ ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ความเร็วลม 1 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จะทำให้รู้สึกเย็นลง 0.4 องศาเซลเซียส (องศาฟาเรนไฮต์ = (องศาเซลเซียส คูณ 1.8) บวกด้วย 32) [1] (สุนทร บุญญาธิการ,2542) อย่างไรก็ตามความเร็วลมที่เหมาะสมเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการสร้างสภาวะน่าสบาย หากความเร็วลมน้อยเกินไปผู้อยู่อาศัยจะรู้สึกอึดอัดไม่มีอากาศถ่ายเท แต่หากความเร็วลมที่มากเกินไป ก็ทำให้รู้สึกรำคาญหรือรบกวนการทำงานและกิจกรรมต่างๆ โดยความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลม และสภาพวะน่าสบายดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและสภาวะน่าสบาย (ที่มา : สุนทร บุญญาธิการ และธนิต จินดาวณิค : 2536)

ความเร็วลม	ความรู้สึกถึงอุณหภูมิที่ลดลง	ผลที่อาจเกิดขึ้น
0-50 fpm **หรือ** 0-0.25 mps	**ไม่เปลี่ยนแปลง**	**ไม่สามารสังเกตได้**
50-100 fpm **หรือ** 0.25-0.50 mps	**ต่ำลง** 2-3°F	**สบาย**
100-200 fpm **หรือ** 0.50-1.00 mps	**ต่ำลง** 4-5°F	**โดยทั่วไปรู้สึกสบาย รับรู้ได้ถึงการเคลื่อนไหวของอากาศ**
200-300 fpm **หรือ** 1.00-1.50 mps	**ต่ำลง** 5-7°F	**รู้สึกมีลมพัดเล็กน้อยจนถึงรู้สึกถูกรบกวนได้**
สูงกว่า 300 fpm **หรือ** 1.50 mps	**ต่ำลงมากกว่า** 7°F	**ต้องการการแก้ไขที่ถูกต้อง**

3.ทำให้เกิดการถ่ายเทของความร้อน (Convection)

การระบายอากาศ ทำให้เกิดการถ่ายเทของความร้อน ระหว่างอากาศภายนอกอาคารกับอากาศภายในอาคารหรือกับโครงสร้างอาคาร ซึ่งเป็นไปในลักษณะ 2 ทาง ขึ้นอยู่กับว่าแหล่งใดมีความร้อนสูงกว่าก็จะถ่ายเทไปสู่อีกแหล่งซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า ดังนั้นการระบายอากาศซึ่งทำให้อากาศในอาคารหรือโครงสร้างอาคารมีอุณหภูมิลดลง จำเป็นต้องอาศัยอากาศภายนอกซึ่งมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่านั่นเอง

2.3.2 **การระบายอากาศธรรมชาติ** (Natural ventilation)

การระบายอากาศธรรมชาติเป็นรูปแบบหนึ่งของการระบายอากาศ ที่ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเป็นทางเลือกในการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพเพื่อลดภาระการทำความเย็นในอาคารเพื่อไปสู่ภาวะน่าสบายทางความร้อนและทำให้เกิดสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมภายในอาคาร สำหรับสถานที่ซึ่งมีสภาพอากาศภายนอกที่เหมาะสม

การระบายอากาศธรรมชาติอาศัยการเคลื่อนที่ของอากาศผ่านเปลือกอาคารทางช่องเปิดหน้าต่างหรือช่องเปิดเพื่อการระบายอากาศ อากาศนี้จะถูกสร้างด้วยความแตกต่างของความดันระหว่างภายนอกและภายในที่เกิดขึ้นด้วยแรงลมและความแตกต่างของอุณหภูมิการใช้งานการระบายอากาศธรรมชาติให้มีประสิทธิภาพ จะต้องเข้าใจในหลักการเคลื่อนที่ของอากาศ ลักษณะการไหลของอากาศ รูปแบบการไหลของอากาศผ่านอาคาร และปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการไหลของอากาศผ่านอาคาร โดยมีรายละเอียด ดังนี้

---

[1] http://th.wikipedia.org

2.3.2.1 หลักการเคลื่อนที่ของอากาศ

ในการออกแบบการระบายอากาศธรรมชาติ ต้องคำนึงถึงการไหลเวียนของอากาศผ่านพื้นที่ภายในอาคารซึ่งเกิดขึ้นจาก 2 ปัจจัย ได้แก่ การกระจายของความกดอากาศรอบอาคาร และแรงผลักเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ดังนี้

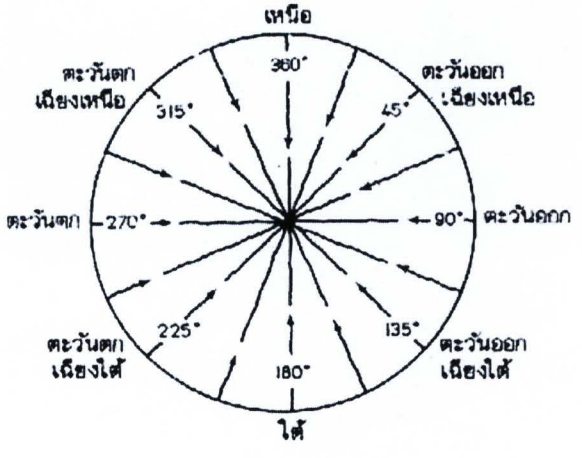
1. แรงลม

การระบายอากาศธรรมชาติเนื่องจากแรงลมเกิดจากความแตกต่างของความดันอากาศระหว่างด้านตรงข้ามผิวภายนอกของอาคาร โดยทั่วไป ผิวอาคารด้านปะทะลมจะเกิดความดันอากาศสูง (เครื่องหมายบวก) และด้านตรงกันข้ามและด้านขนานกับด้านปะทะลมจะเกิดความดันอากาศต่ำ (เครื่องหมายลบ)

ลม เป็นกระแสอากาศที่เคลื่อนที่ในแนวนอน การเรียกชื่อลมนั้นเรียกตามทิศทางที่ลมนั้นๆ พัดมา เช่น ลมที่พัดมาจากทิศเหนือเรียกว่า ลมเหนือ และลมที่พัดมาจากทิศใต้เรียกว่า ลมใต้ เป็นต้น ในละติจูดต่ำ ไม่สามารถจะคำนวณหา ความเร็วลม แต่ในละติจูดสูงสามารถคำนวณหาความเร็วลมได้

การวัดลมมีวิธีการวัด 2 วิธี คือ วัดทิศลม และวัดความเร็วลม

1.1 **ทิศลม** อาจเรียกชื่อตามทิศต่างๆ ของเข็มทิศ หรือเรียกเป็นองศาจากทิศจริง ปัจจุบันการวัด ทิศลมนิยมวัดทิศลมตามเข็มทิศ และวัดเป็นองศา ถ้าวัดทิศลมด้วยเข็มทิศ เข็มทิศจะถูกแบ่งออกเป็น ทิศใหญ่ๆ 4 ทิศ คือ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก ซึ่งทิศทั้ง 4 ทิศ เมื่อแบ่งย่อยอีกจะเป็น 8 ทิศ โดยจะเพิ่มทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และทิศตะวันออกเฉียงใต้ นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งจาก 8 ทิศ ให้ย่อยเป็น 16 ทิศ หรือ 32 ทิศ ได้อีก แต่การรายงานทิศนั้น มักนิยมรายงานจำนวนทิศเพียง 8 หรือ 16 ทิศ เท่านั้น ส่วนการวัดทิศลมที่เป็นองศาบอกมุมของลมจากทิศจริง ในลักษณะที่เวียนไปตามเข็มนาฬิกา ใช้สเกลจาก 0 องศา ไปจนถึง 360 องศา เช่น ลมทิศ 0 องศา หรือ 360 องศา เป็นทิศเหนือ , ลมทิศ 45 องศา เป็นทิศตะวันออกเฉียงเหนือ, ลมทิศ 90 องศา เป็นทิศตะวันออก, ลมทิศ 135 องศา เป็นทิศตะวันออกเฉียงใต้, ลมทิศ 180 องศา เป็นทิศใต้, ลมทิศ 225 องศา เป็นทิศตะวันออกเฉียงใต้, ลมทิศ 270 องศา เป็นทิศตะวันตก และลมทิศ 315 องศา เป็นทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 แสดงการเรียกชื่อของทิศทางลม (ที่มา: กีรติ ลีวัจนกุล, 2543:2-99)

1.2 **ความเร็วลม** คือ การเคลื่อนที่ของอากาศที่ทำให้เกิดแรง หรือความกดที่ผ่านจุดที่กำหนดให้บนพื้นผิวโลก และแรงหรือความกดเป็นสัดส่วนกับกำลัง 2 ของความเร็วลม อธิบายดังในรูปของสมการที่ 2

$$P = kv^2 \qquad (2)$$

โดยที่

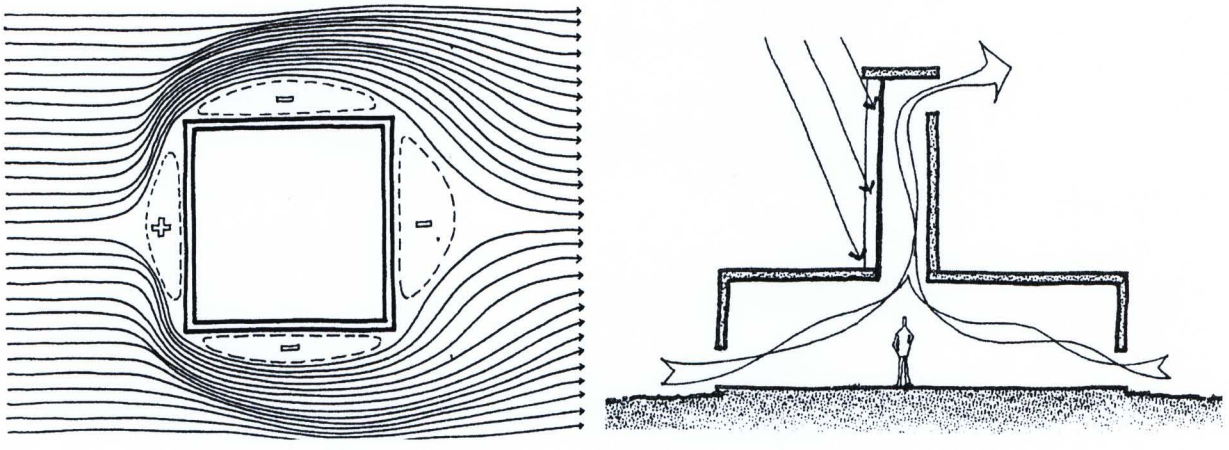
P = ความกดที่เกิดจากการกระทำของลม

V = ความเร็วลม

K = ค่าคงที่ของหน่วยที่ใช้

ถ้าความกดอากาศมีหน่วยเป็นปอนด์ต่อตารางฟุต ความเร็วลมเป็นนอต (1 นอต หมายถึง 1 ไมล์ทะเล (6,080.20 ฟุต) ต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นหน่วยมาตรฐานความเร็วลมที่ใช้ในสหรัฐอเมริกา) สมการจะเป็น P = 0.0053 V2 โดยประมาณสำหรับผิวพื้นที่ราบเรียบ แต่ถ้าความเร็วลมมีหน่วยเป็นไมล์ต่อชั่วโมง ค่า P ที่ได้จะเปลี่ยนไปเป็น P = 0.004 V2

จากสมการดังกล่าวเป็นการหาแรงกดอากาศที่เกิดจากความเร็วลมที่วัดค่าได้ ซึ่งความเร็วลมที่ได้จากงานวิจัยชิ้นนี้ สามารถนำไปคำนวณหาค่าแรงกดอากาศ เพื่อใช้ในการศึกษาให้เกิดประโยชน์ต่อไปในอนาคตได้



ภาพที่ 2.8 แสดงการเคลื่อนที่ของกระแสลมเนื่องจากแรงลมเกิดจากความแตกต่างของความดันอากาศระหว่างด้านตรงข้ามผิวภายนอกของอาคาร (ภาพซ้าย) และจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (ภาพขวา)(ที่มา: passive cooling : ventilation ,fuller moore,1993:180,187)

2. แรงเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ

โดยทั่วไปแล้วอากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจะมีความหนาแน่นของอากาศน้อยกว่าอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ในกรณีที่พื้นที่สองส่วนมีอุณหภูมิอากาศแตกต่างกันก็จะทำให้ความดันอากาศแตกต่างกันด้วย โดยอากาศจะเคลื่อนที่จะบริเวณที่มีความดันอากาศสูงหรือบริเวณที่มีอุณหภูมิอากาศต่ำกว่าสู่บริเวณที่มีความดันอากาศต่ำหรือบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่านั่นเอง นอกจากนี้ความหนาแน่นอากาศบริเวณที่สูงจะต่ำกว่า

บริเวณที่ต่ำกว่า ลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศจึงมีแนวโน้มขึ้นสูบริเวณที่สูงกว่าดังนั้นในกรณีที่อากาศภายในอาคารมีอุณหภูมิสูงกว่าภายนอกอาคาร อากาศในระดับต่ำกว่าจะลอยตัวขึ้นสูงซึ่งเป็นบริเวณที่มีความ กด - อากาศต่ำกว่า ในขณะที่อากาศภายนอกในระดับเดียวกันซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าจะเคลื่อนที่เข้ามาแทนที่อากาศร้อน ที่ลอยตัวสูงขึ้น ซึ่งหากอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารสูงกว่าภายในอาคารก็จะเกิดปรากฏการณ์ในทางตรงข้ามกัน ความแตกต่างของอุณหภูมิและความหนาแน่นอากาศระหว่างอากาศภายในอาคารและภายนอกอาคารซึ่งทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศทางตั้งผ่านอาคารในลักษณะนี้ เรียกว่า stack effect

2.3.2.2 ลักษณะการไหลของอากาศ

1.) อากาศจะเคลื่อนที่จากที่ที่มีความกดอากาศสูงไปยังที่ที่มีความกดอากาศต่ำดังภาพที่ 2.9 (1)

2.) การเคลื่อนที่ของอากาศ จะเคลื่อนเป็นแนวทาง และความเร็วที่แน่นอน จนกว่าจะมีสิ่งที่มากีดขวางแนวทางการเคลื่อนที่ ดังภาพที่ 2.9 (2)

3.) เมื่ออากาศเคลื่อนผ่านสิ่งกีดขวาง เช่น อาคาร หรือต้นไม้ จะเปลี่ยนทั้งทิศทางและความเร็วหลังจากนั้นอากาศจะกลับมาเคลื่อนที่ในทิศทางและความเร็วเดิม ดังภาพที่ 2.9 (3)

4.) ลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศแบบราบเรียบ เป็นแนวขนาน มีความเร็วที่สม่ำเสมอ เรียกว่า ลามินาร์ (laminar) ดังภาพที่ 2.9 (4)

5.) ลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศที่ถูกแยกออกจากกัน และไม่สามารถคาดหมายถึงแนวทางได้เมื่ออากาศทั้งสองพบกันในด้านตรงกันข้าม บางส่วนจะหมุนวนเป็นวงกลม ก่อนจะเคลื่อนไปในแนวทางเดิม เรียกว่า เทอบิวเล็นท์โฟลท์ (turbulent flow) ดังภาพที่ 2.8 (5)

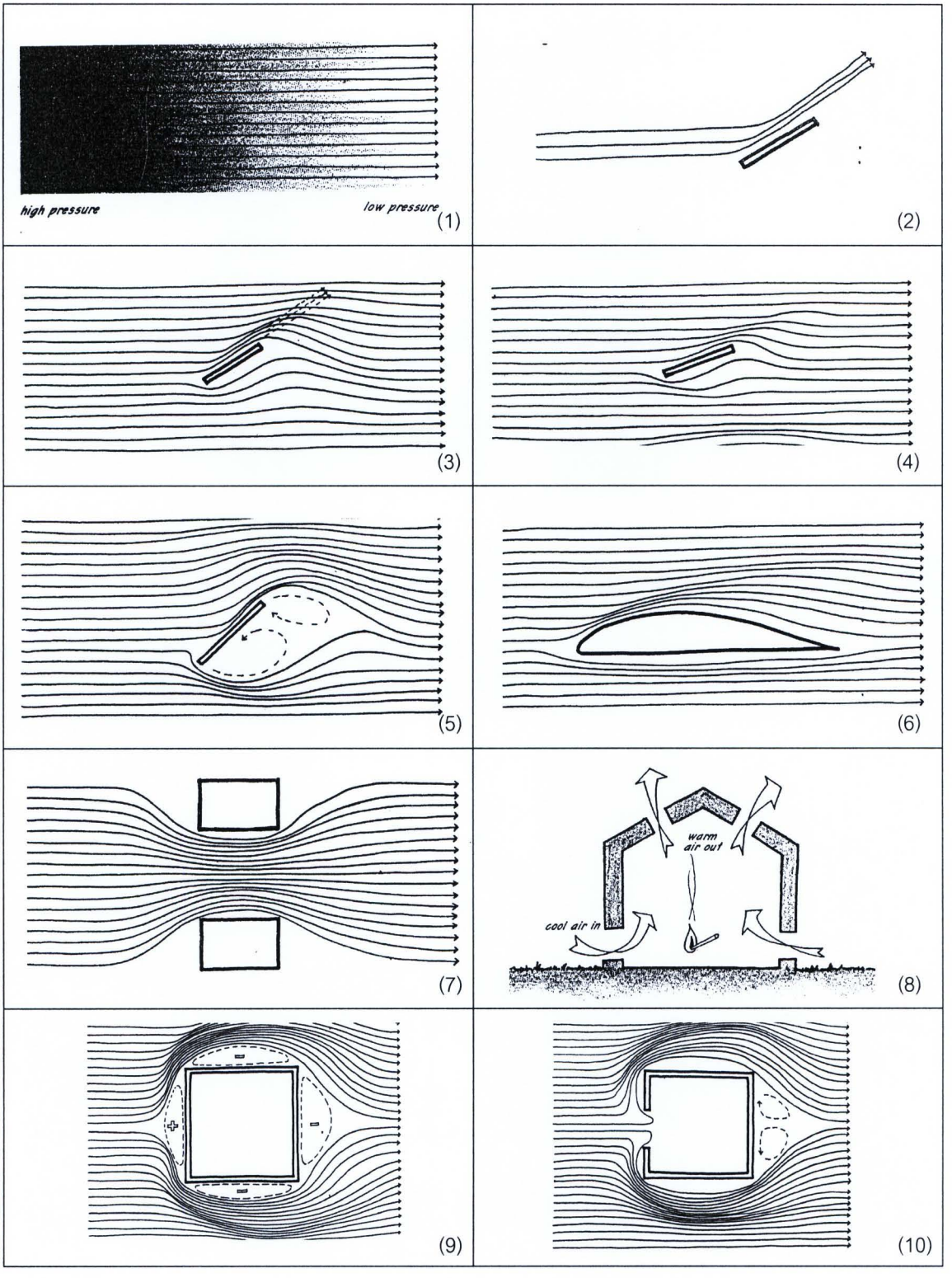
6.) การเคลื่อนที่ของอากาศที่เคลื่อนตัวในระยะทางที่ไม่เท่ากัน ทำให้เกิดการลดความดันในอากาศที่เคลื่อนตัวในระยะทางที่ยาวกว่า เรียกว่า เบอเนาลิ แอฟเฟ็ค (bernoulli effect) ดังภาพที่ 2.8 (6)

7.) ลักษณะการเคลื่อนตัวของอากาศแบบลามินาร์ (laminar) ผ่านช่องเปิดของสิ่งกีดขวางอากาศจะเบียดตัวผ่านพื้นที่เล็กกว่า จนเกิดอากาศแบบเทอบิวเล็นท์ (Turbulent) ซึ่งจะเรียกลักษณะการเกิดแบบนี้ว่า เวนทูรี แอฟเฟ็ค (venturi effect) ดังภาพที่ 2.9 (7)

8.) ผลของอากาศร้อนในอาคารที่ลอยตัวสูงขึ้นทำให้ดึงดูดอากาศภายนอกอาคารเข้ามาแทนที่เรียกว่า สแต็ค แอฟเฟ็ค (stack effect) ดังภาพที่ 2.9 (8)

9.) ลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศผ่านวัตถุทึบตัน จะปรากฏพื้นที่ที่มีความดันต่ำบริเวณด้านข้างหรือขนานกับทิศทางลม เรียกว่า พื้นที่เงาของลม (wind shadow) ซึ่งมีศักยภาพการไหลเวียนของกระแสอากาศน้อย ดังภาพที่ 2.9 (9)

10.) กระแสลมจะไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่มีความดันอากาศเท่ากันได้ เรียกว่าปรากฏการณ์สมดุลความดัน (pressure equalization) ดังภาพที่ 2.9 (10)



ภาพที่ 2.9 แสดงลักษณะการไหลของอากาศรูปแบบต่างๆ (ที่มา: passive cooling : ventilation ,fuller moore,1993:178-188)

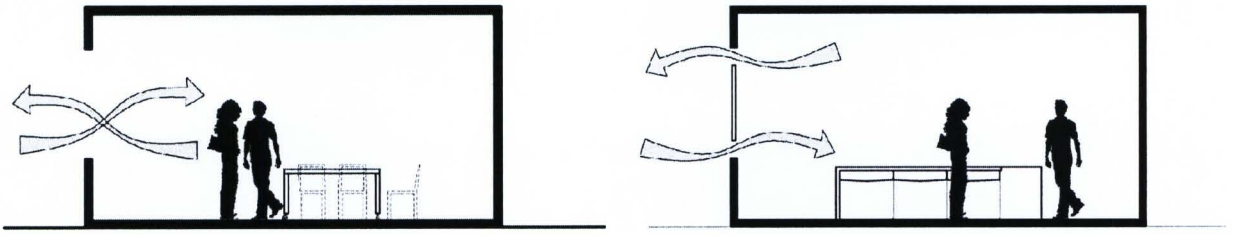
2.3.2.3 **รูปแบบการไหลของอากาศผ่านอาคาร**

เมื่อมีกระแสลมพัดผ่านอาคาร จะทำให้เกิดความแตกต่างของความดันอากาศด้านปะทะลม ด้านข้างและด้านใต้ลม ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของลมจากด้านปะทะลมที่มีความกดอากาศสูงสู่ด้านข้างและด้านใต้ลมที่มีความกดอากาศต่ำกว่า แต่เนื่องจากพฤติกรรมของลมที่คงรักษาแนวทางการเคลื่อนที่เดิม ดังนั้นหากมีการเจาะช่องเปิดในด้านที่ตรงกับแนวทางการเคลื่อนที่ของลม ก็จะทำให้ลมสามารถเคลื่อนที่ไปยังด้านใต้ลมซึ่งมีความดันอากาศต่ำได้ง่ายขึ้น เกิดการระบายอากาศธรรมชาติ(natural ventilation) ภายในอาคารในรูปแบบต่างๆ โดยทั่วไปมี 3 ลักษณะ ได้แก่

1. **การระบายอากาศด้านเดียว** (Single-side ventilation)

เป็นการระบายอากาศจากช่องเปิดเดียวกันหรือช่องเปิดหลายช่องเปิดในผนังเดียวกันซึ่งวิธีนี้ความดันลมจะไม่ช่วยให้เกิดการไหลของอากาศหรือเกิดขึ้นน้อยมาก เพราะความกดอากาศภายนอกและภายในใกล้เคียงกันและเป็นความกดอากาศสูงทั้ง 2 ด้าน มี 2 ลักษณะ ดังนี้

• Single-side single opening อาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคารสร้างให้เกิดแรงขับเคลื่อนของอากาศจากภายนอกสู่ภายในอาคารในลักษณะวกกลับวิธีการเช่นนี้จะทำให้เกิดการระบายอากาศในระยะไม่ลึกมากนักโดยทั่วไปห้องไม่ควรกว้างเกิน 2.5 เท่าของความสูง ดังภาพที่ 2.10 (ภาพขวา)

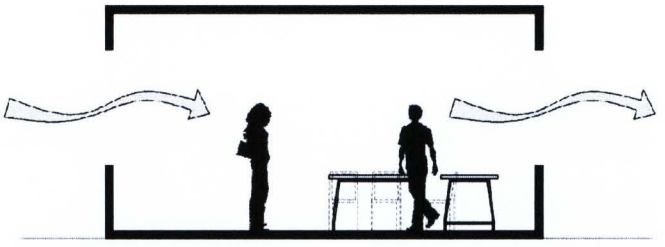


ภาพที่ 2.10 แสดงลักษณะการระบายอากาศด้านเดียวแบบ single-side single opening (ภาพซ้าย)และแบบ single-side double opening (ภาพขวา) (ที่มา: BRE digest 399, 1999:60,61)

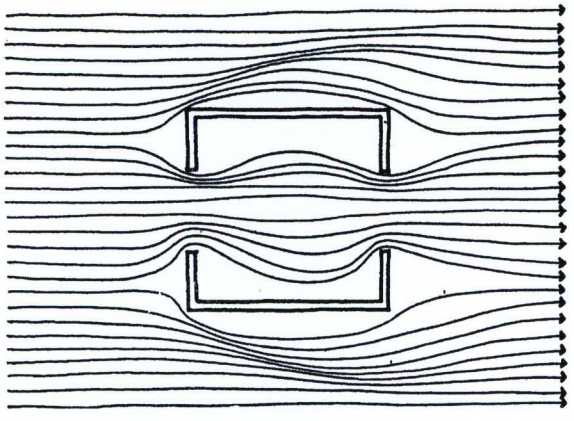
• Single-side double opening ประกอบด้วยช่องเปิดในระดับความสูงแตกต่างกัน ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคารและระดับช่องเปิดที่ต่างกันทำให้เกิดแรงขับเคลื่อนของอากาศจากภายนอกสู่ภายในอาคาร วิธีการเช่นนี้ทำให้เกิดการระบายอากาศในระยะไม่ลึกมากนักโดยทั่วไปห้องไม่ควรกว้างเกิน 2.5 เท่าของความสูงจากพื้นถึงฝ้าเพดาน ดังภาพที่ 2.10 (ภาพซ้าย)

2. **การระบายอากาศแบบพัดผ่านตลอด** (Cross ventilation)

เป็นการระบายอากาศที่เกิดขึ้นเมื่อมีช่องเปิด 2 ด้านของพื้นที่ โดยอากาศจะเคลื่อนที่เข้าสู่อาคารทางช่องเปิดด้านปะทะลมและออกสู่ภายนอกอาคารทางช่องเปิดด้านตรงข้าม ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความดันอากาศเนื่องจากกระแสลมระหว่างช่องเปิดทางเข้าและช่องเปิดทางออก โดยระยะห่างระหว่างช่องเปิดลมเข้าและลมออกที่ทำให้เกิดการระบายอากาศแบบพัดผ่านตลอดที่มีประสิทธิภาพต้องไม่มากกว่า 5 เท่าของความสูงจากพื้นถึงฝ้าเพดาน ดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 แสดงลักษณะการระบายอากาศแบบพัดผ่านตลอด (cross ventilation) (ที่มา:BRE digest 399, 1999:62)

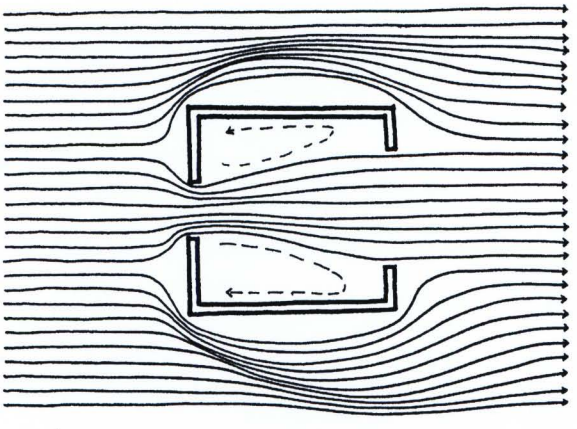


ช่องเปิดลมเข้า = ลมออก

-ให้ปริมาณการหมุนเวียนอากาศ (ACH) ดีที่สุด

- เหมาะสำหรับการทำความเย็นให้กับอาคาร

ภาพที่ 2.12(1) แสดงลักษณะการระบายอากาศแบบพัดผ่านตลอด (cross ventilation) แบบช่องเปิดลมเข้าเท่ากับช่องเปิดลมออก (ที่มา: passive cooling : ventilation ,fuller moore,1993:182-183.)

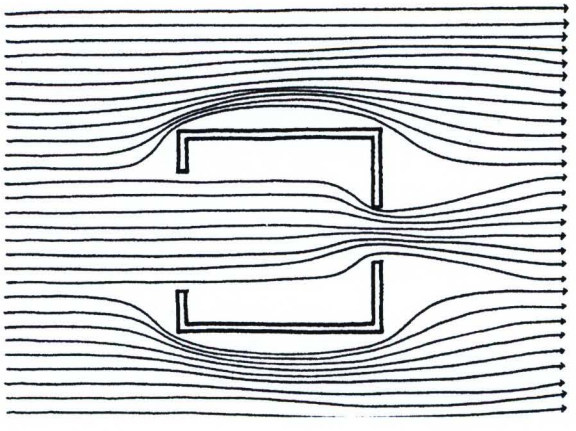


ช่องเปิดลมเข้า < ลมออก

-ให้ปริมาณความเร็วลมภายในมากที่สุด

- เหมาะสำหรับการทำความเย็นให้ผู้ใช้อาคาร

ภาพที่ 2.12(2) แสดงลักษณะการระบายอากาศแบบพัดผ่านตลอด (cross ventilation) แบบช่องเปิดลมเข้าเล็กกว่าช่องเปิดลมออก (ที่มา: passive cooling : ventilation ,fuller moore,1993:182-183.)

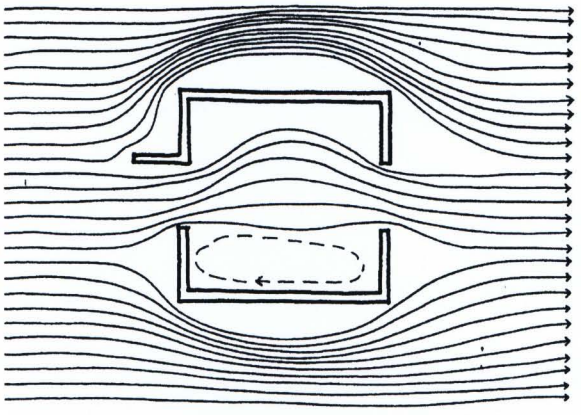


ช่องเปิดลมเข้า > ลมออก

-ให้ปริมาณการหมุนเวียนอากาศความเร็วลมลดลง

- เหมาะสำหรับการทำความเย็นให้กับภายนอกอาคารทางช่องลมออก

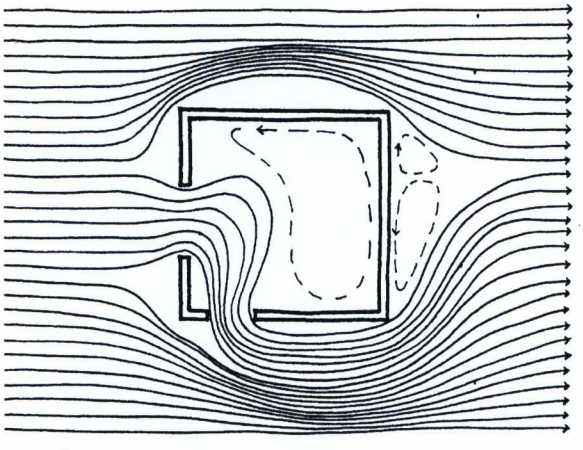
ภาพที่ 2.12(3) แสดงลักษณะการระบายอากาศแบบพัดผ่านตลอด (cross ventilation) แบบช่องเปิดลมเข้าใหญ่กว่าช่องเปิดลมออก (ที่มา: passive cooling : ventilation ,fuller moore,1993:182-183.)



การมีวัตถุเพื่อเปลี่ยนทิศทางการไหลของอากาศ

-สามารถเปลี่ยนทิศทางลมให้เข้าภายในอาคารได้ ในกรณีช่องเปิดลมเข้ามีขนาดเล็ก หรือในกรณีอื่นๆ

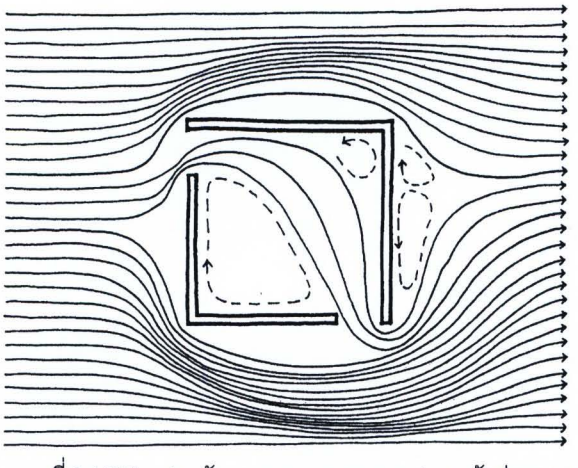
ภาพที่ 2.12(4) แสดงลักษณะการระบายอากาศแบบพัดผ่านตลอด (cross ventilation) แบบการมีวัตถุเพื่อเปลี่ยนทิศทางการไหลของอากาศ (ที่มา: passive cooling : ventilation ,fuller moore,1993:182-183.)



ช่องเปิดลมเข้าตั้งฉากกับช่องเปิดลมออก

-กรณีช่องเปิดอยู่ติดกัน

ภาพที่ 2.12(5) แสดงลักษณะการระบายอากาศแบบพัดผ่านตลอด (cross ventilation) แบบการมีช่องเปิดลมเข้าตั้งฉากกับช่องเปิดลมออก (ที่มา: passive cooling : ventilation ,fuller moore,1993:182-183.)



ช่องเปิดลมเข้าตั้งฉากกับช่องเปิดลมออก

-กรณีช่องเปิดอยู่ที่มุมห้อง

ภาพที่ 2.12(6) แสดงลักษณะการระบายอากาศแบบพัดผ่านตลอด (cross ventilation) แบบการมีช่องเปิดลมเข้าตั้งฉากกับช่องเปิดลมออก (ที่มา: passive cooling : ventilation ,fuller moore,1993:182-183.)

3. **การระบายอากาศโดยใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิ** (Stack ventilation)

เป็นการระบายอากาศที่อาศัยแรงขับเคลื่อนจากความแตกต่างระหว่างความดันอากาศเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในอาคารที่สูงกว่าอุณหภูมิภายนอกอาคาร โดยอากาศภายในอาคารจะลอยตัวขึ้นสูระดับที่สูงกว่าทำให้อากาศภายนอกซึ่งมีอุณหภูมิต่ำจะเคลื่อนที่เข้าแทนที่ ดังนั้นการระบายอากาศ โดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิจึงต้องอาศัยช่องเปิดลมเข้าในระดับต่ำและช่องเปิดลมออกในระดับสูง โดยประสิทธิภาพของการระบายอากาศในลักษณะนี้จะแปรผันตามความแตกต่างของความสูงและความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างช่องเปิดลมเข้าและลมออก

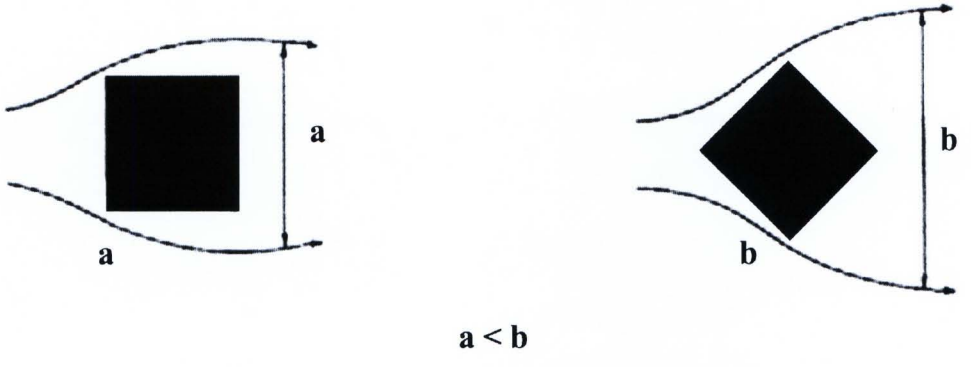
2.3.2.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการไหลเวียนของอากาศผ่านอาคาร

การไหลเวียนกระแสลมในอาคารขึ้นอยู่กับแรงขับเคลื่อนและความต้านทานต่อการไหลเวียนตลอดแนวทางการพัดผ่าน ซึ่งเป็นผลจากส่วนประกอบต่างๆ ทางสถาปัตยกรรม พอสรุปได้ดังนี้

1. **ช่องเปิด**

ช่องเปิดเป็นองค์ประกอบที่ควบคุมการไหลเวียนของกระแสลมที่เห็นได้ชัดเจนที่สุด ตำแหน่ง ขนาด ความสูง และชนิดที่แตกต่างของหน้าต่างเมื่อใช้เป็นช่องเปิดลมเข้าและช่องเปิดลมออกทำให้เกิดรูปแบบการไหลเวียนของกระแสลมภายในอาคารที่แตกต่างและทำให้เกิดทางเลือกในการควบคุมทิศทางและระดับของแนวการพัดผ่าน

• การวางตำแหน่งของช่องเปิด จากการศึกษาของ Givoni พบว่ากระแสลมที่พัดมาทำมุม 45 องศา จากแนวตั้งฉากจะเพิ่มความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคารและกระแสลมสามารถกระจายทั่วท้องอาคารได้ดีกว่ากระแสลมที่พัดมาในแนวตั้งฉาก เนื่องจากทำให้เกิดพื้นที่เงาลมเป็นบริเวณกว้าง ความดันอากาศต่ำบริเวณ ช่องเปิดลมออกจะทำให้เกิดแรงดูดที่มากกว่าส่งผลให้กระแสลมภายในอาคารมีเคลื่อนที่เร็วขึ้น ดังภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 แสดงขอบเขตของพื้นที่เงาลมเมื่อกระแสลมพัดมาในทิศทางตั้งฉากและทำมุม 45 องศากับอาคาร
(ที่มา: Koenigsberger, cited in Sutthipong Boonyou,1999:71)

นอกจากนี้ Givoni ยังพบอีกว่า กระแสลมที่ทำมุมเฉียงกับอาคารจะทำให้กระแสลมภายในอาคารสูงขึ้นเฉพาะกรณีที่ช่องเปิดลมเข้าอยู่ด้านตรงข้ามกับช่องเปิดลมออกเท่านั้น ส่วนในกรณีที่ช่องเปิดลมเข้าอยู่ในตำแหน่งตั้งฉากกับช่องเปิดลมออก จะให้ผลในทางตรงกันข้าม คือ เมื่อกระแสลมพัดมาในทิศตั้งฉากกับ

ช่องเปิดลมเข้าจะทำให้ความเร็วลมเฉลี่ยภายในจะสูงกว่ากรณีที่กระแสลมพัดมาทำมุมเฉียง 45 องศากับช่องเปิดทางเข้า ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 แสดงผลกระทบของตำแหน่งหน้าต่างและทิศทางกระแสลมต่อค่าความเร็วลมเฉลี่ย (ร้อยละของความเร็วลมภายนอก) (ที่มา: Givoni.,1969:261)

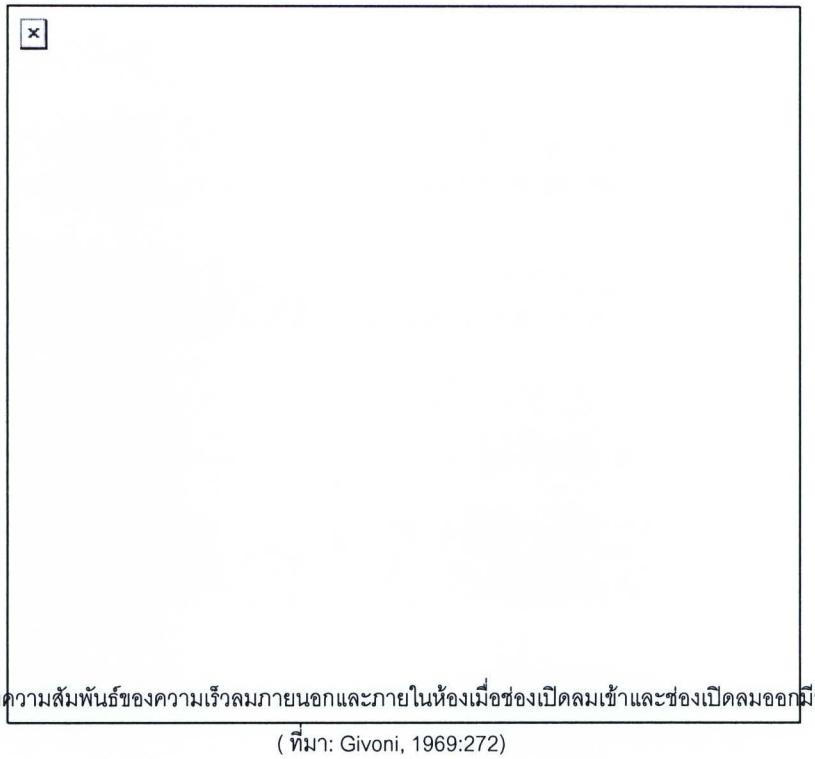
Inlet width	Outlet width	Windows in opposite walls		Windows in adjacent walls	
		Wind perpend	Wind oblique	Wind perpend	Wind oblique
1/3	1/3	35	42	45	37
1/3	2/3	39	40	39	40
2/3	1/3	34	43	51	36
2/3	2/3	37	51	-	-
1/3	3/3	44	44	51	45
3/3	1/3	32	41	50	37
2/3	3/3	35	59	-	-
3/3	2/3	36	62	-	-
3/3	3/3	47	65	-	-

ทั้งนี้เนื่องจาก ในกรณีที่ช่องเปิดทางเข้าออกไม่ตรงกัน อากาศจะถูกบังคับให้หันเหทิศทางการไหลของกระแสลมภายในด้วยแรงเฉื่อยและวกกลับด้วยแรงที่เกิดจากความแตกต่างของความดัน วิธีการไหลแบบนี้จะเกิดขึ้นได้อีกเมื่อมีสิ่งอื่นๆมากีดขวางทางเข้าหรือออกของอากาศ

ดังนั้นการเปิดช่องเปิดให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดจะต้องเปิดทางลมเข้าบริเวณที่เกิดความกดดันอากาศสูงและเปิดช่องลมออกบริเวณที่เกิดความกดดันอากาศต่ำ นั่นคือจะต้องวางตำแหน่งช่องเปิดให้ทางลมเข้าอยู่ตรงข้ามกับทางลมออก

สำหรับภูมิภาคที่กระแสลมเปลี่ยนทิศระหว่างกลางวันและกลางคืนหรือระหว่างฤดู ตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับช่องเปิดควรจะตอบสนองกับทิศทางกระแสลมระหว่างช่วงเวลาที่ความเร็วลมต่ำที่สุดและบ่อยที่สุดระหว่างช่วงเวลากลางคืน

• ขนาดของช่องเปิด เป็นสิ่งสำคัญที่จะกำหนดความเร็วลมภายในห้อง จากการศึกษาของ Givoni พบว่าในห้องที่เกิดการพัดผ่านของลม ขนาดของช่องเปิดทั้งช่องเปิดลมเข้าและช่องเปิดลมออกจะมีอิทธิพลต่อความเร็วลมภายในห้อง โดยยิ่งช่องเปิดลมเข้าลมออกมีขนาดใหญ่ขึ้นความเร็วลมภายในห้องจะยิ่งสูงขึ้น ไม่ว่าลมจะพัดมาในทิศตั้งฉากหรือทำมุมเฉียงกับช่องเปิดลมเข้า ดังตารางที่ 2.9 และเมื่อใช้ช่องเปิดลมเข้าขนาดใหญ่กว่าช่องเปิดลมออกจะทำให้เกิดการไหลเวียนของลมมาก ในทางตรงกันข้ามเมื่อช่องเปิดลมเข้ามีขนาดเล็กกว่าช่องเปิดลมออก ความเร็วลมภายในอาคารจะลดลง และจะมีความเร็วลมใกล้เคียงกันเมื่อขนาดช่องเปิดลมเข้าเท่ากับช่องเปิดลมออก ดังตารางที่ 2.10



ภาพที่ 2.14 แสดงความสัมพันธ์ของความเร็วลมภายนอกและภายในห้องเมื่อช่องเปิดลมเข้าและช่องเปิดลมออกมีขนาดต่างๆกัน (ที่มา: Givoni, 1969:272)

อย่างไรก็ตามในหน้าร้อนกระแสลมที่มีความเย็นและมีความเร็ว จะมีความสำคัญมากกว่าปริมาณการไหลเวียนของแระแสลมภายใน การใช้ช่องเปิดทางลมเข้าที่เล็กและช่องเปิดทางลมออกใหญ่ (venturi effect) ความเร็วลมภายในบริเวณช่องเปิดทางลมเข้าจะมากที่สุด

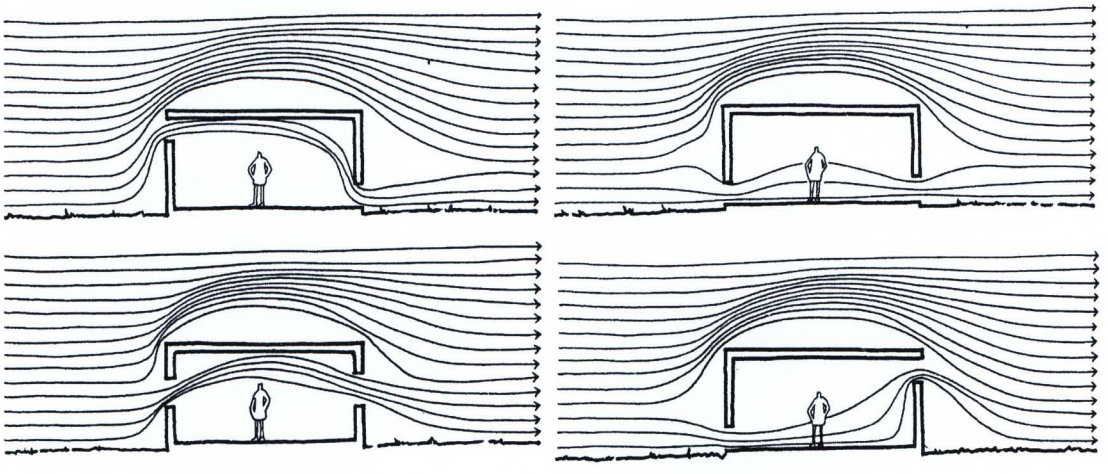
ตารางที่ 2.9 แสดงผลกระทบขนาดหน้าต่างในห้องซึ่งไม่มีการพัดผ่านตลอดของกระแสลมต่อความเร็วลมเฉลี่ย (ร้อยละต่อความเร็วลมภายนอก) (ที่มา: Givoni, 1969:262)

Direction of the wind	Width of window		
	1/3	2/3	3/3
Perpendicular to window	13	13	16
Oblique in front	12	15	23
Oblique from rear	14	17	17

ตารางที่ 2.10 แสดงผลกระทบของขนาดช่องเปิดลมเข้าและช่องเปิดลมออกซึ่งมีการพัดผ่านตลอดของกระแสลมต่อความเร็วลมเฉลี่ยและความเร็วลมสูงสุด (ร้อยละต่อความเร็วลมภายนอก) (ที่มา: Givoni, 1969:263)

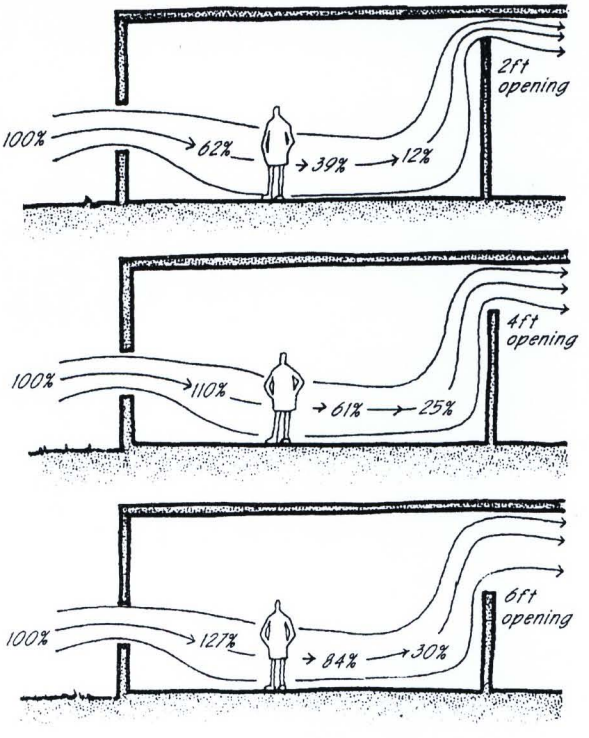
Wind direction	Outlet size	Inlet size					
		1/3		2/3		3/3	
		Av.	Max.	Av.	Max.	Av.	Max.
Perpendicular	1/3	36	65	34	74	32	49
	2/3	39	131	37	79	36	72
	3/3	44	137	35	72	47	86
oblique	1/3	42	83	43	96	42	62
	2/3	40	92	57	133	62	131
	3/3	44	152	59	137	65	115

• ตำแหน่งความสูงของช่องเปิด ความสูงของช่องเปิดลมเข้าเป็นปัจจัยสำคัญที่จะกำหนดระดับของแนวการไหลเวียนของลมภายในอาคาร โดยระดับความสูงช่องเปิดที่เหมาะสมควรจะสัมพันธ์กับระดับร่างกาย (มาลินี ศรีสุวรรณ, 2543) ช่องเปิดลมเข้าและช่องเปิดลมออกที่อยู่ในระดับใกล้ฝ้าเพดานแม้จะทำให้ความเร็วลมภายในอาคารสูงกว่าแต่การไหลเวียนของลมจะเกิดเหนือพื้นที่ใช้งาน ในขณะที่ช่องเปิดลมเข้าและออกในระดับพื้นแม้จะมีความเร็วลมที่ต่ำกว่าแต่การไหลเวียนของลมจะใกล้เคียงกับพื้นที่ใช้งานมากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อช่องเปิดอยู่สูงขึ้นแนวผนังด้านหน้าที่ปะทะลมจะเกิดแรงดันขึ้น ซึ่งจะมีขนาดเพิ่มมากขึ้นตามความสูง ประกอบกับความเร็วลมของลมด้านนอกจะมีค่าสูงขึ้นตามความสูงที่เพิ่มขึ้น ทำให้ลมภายในห้องเร็วและแรงขึ้นกว่าช่องเปิดที่อยู่ใกล้พื้นดิน โดยช่องเปิดลมเข้าอยู่ในระดับต่ำและช่องเปิดลมออกอยู่ในระดับสูงจะทำให้การไหลเวียน ของลมอยู่ในระดับพื้นที่ใช้งานได้ ดังภาพที่ 2.15



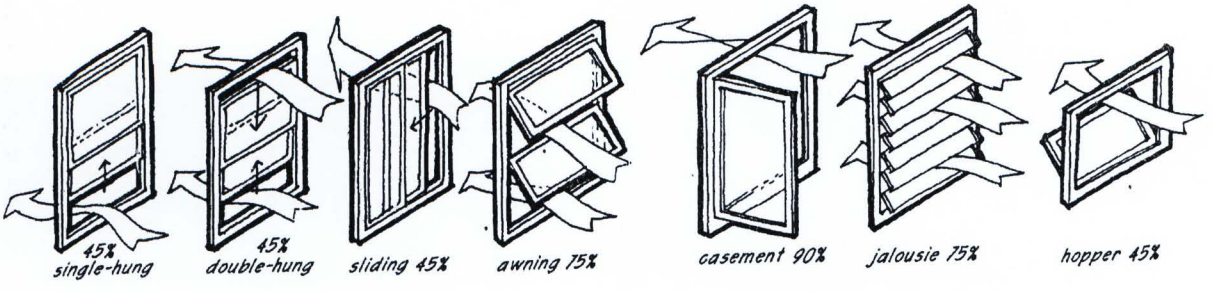
ภาพที่ 2.15 แสดงการเบี่ยงเบนของกระแสลมเนื่องจากตำแหน่งความสูงของช่องเปิด

(ที่มา: passive cooling : ventilation ,fuller moore,1993:184)



ภาพที่ 2.16 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณของกระแสลมในแต่ละจุด จากตำแหน่งความสูงของช่องเปิด(ลมออก)ที่แตกต่างกัน (ที่มา: passive cooling : ventilation ,fuller moore,1993:186)

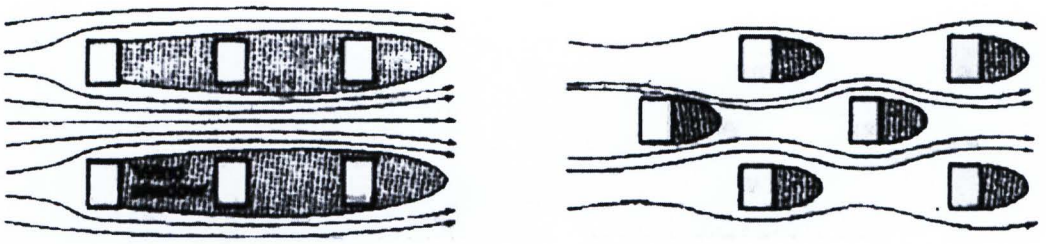
• ชนิดของช่องเปิด ชนิดของหน้าต่างที่แตกต่างกันเมื่อนำมาใช้เป็นช่องเปิดลมเข้าจะส่งผลต่อรูปแบบการไหลเวียนของกระแสลมภายในอาคารที่แตกต่างกันด้วย ซึ่งเป็นทางเลือกสำคัญในการควบคุมทิศทางและระดับของแนวการไหลเวียนของลม ชนิดของหน้าต่างที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ หน้าต่างบานเลื่อน (slidewindow) ทั้งแบบเลื่อนด้านข้าง และเลื่อนขึ้นทางตั้ง กระแสลมจะผ่านเข้ามาภายในอาคารน้อยกว่า 50% หน้าต่างบานเปิด (pivot hung window) ทั้งแบบมีจุดหมุนอยู่ตรงกลางทางนอน (horizontal center pivot hung window) เมื่อเปิดทำมุม 22 องศา จะทำให้อากาศผ่านเข้ามา 100% สำหรับหน้าต่างกว้าง 1.20 เมตร และสูง 1.60 เมตร สำหรับพื้นที่ห้อง 0.66 ตารางเมตร ในขณะที่หน้าต่างแบบที่มีจุดหมุนอยู่ตรงกลางทางตั้ง (vertical centre pivot hung window) เมื่อเปิดทำมุม 22 องศาเช่นกันจะทำให้กระแสลมลดลง 40%เมื่อเปรียบเทียบกับแบบมีจุดหมุนอยู่ตรงกลางทางนอน เช่นเดียวกับหน้าต่างแบบมีจุดหมุนอยู่ด้านข้าง (side pivot hung window) ส่วนหน้าต่างแบบมีจุดหมุนอยู่ด้านบน (top/bottom-pivot hung window) จะมีประสิทธิภาพน้อยที่สุดโดยกระแสลมจะลดลง 35% เมื่อเปรียบเทียบกับแบบมีจุดหมุนอยู่ตรงกลางทางนอน



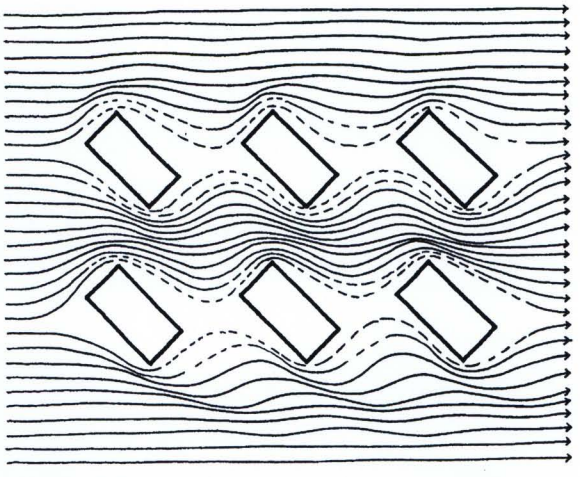
ภาพที่ 2.17 แสดงประสิทธิภาพในการไหลของอากาศผ่านช่องเปิดชนิดต่างๆ (ที่มา: passive cooling : ventilation ,fuller moore,1993:193.)

2. รูปทรงอาคาร

รูปทรงที่มีประสิทธิภาพในการรับกระแสลมได้ดีควรมีพื้นที่รับกระแสลมได้มากและถ่ายเทออกได้สะดวก ซึ่งจากการศึกษาสัดส่วนของรูปทรงอาคารเปรียบเทียบระหว่างรูปด้านสกัดและรูปด้านยาวของ Victor Olgvay พบว่ารูปทรงอาคารในเขตร้อนชื้นควรเป็น 1:3 อาคารที่กระแสลมพัดผ่านจะทำให้เกิดบริเวณกดต่ำ (ความดันอากาศต่ำ) ขึ้นทางด้านประชิดของด้านปะทะลม และทางด้านใต้ลมเนื่องจากลมไหลข้ามไป ซึ่งบริเวณความกดต่ำจะมีเนื้อที่ค่อยๆ น้อยลงตามระยะห่าง จากการที่อากาศค่อยๆเข้ามาแทนที่ตามลำดับ โดยระยะห่างของช่วงความกดต่ำ จนถึงบริเวณที่อากาศเริ่มเข้ามาแทนที่ จะใช้ระยะประมาณ 2 เท่าของความสูง และลมจะมีความเร็วเท่ากับความเร็วเดิมก่อนผ่านอาคาร จะใช้ระยะประมาณ 7 เท่าของความสูง ซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาของ Koenigsberger ที่พบว่า ระยะระหว่างอาคารจะต้องมากกว่า 6 เท่าของความสูง โดยพื้นที่ในกรณีของอาคารเรียงแถวเป็นตาราง พื้นที่เงาลมจะซ้อนทับกัน แต่ถ้ากลุ่มอาคารมีการเรียงแถวแบบสลับฟันปลา การไหลเวียนของกระแสลมจะไม่เป็นรูปแบบ และพื้นที่เงาลมจะถูกจำกัดให้แคบลง นอกจากนี้การวางอาคารทแยงกับทิศทางลมก็สามารถลดพื้นที่เงาลมได้



ภาพที่ 2.18 แสดงลักษณะของพื้นที่เงาลมที่เกิดจากการวางอาคารในลักษณะต่างๆ (ที่มา: Sutthipong Boonyou,1999:83)



ภาพที่ 2.19 แสดงลักษณะของพื้นที่เงาลมที่เกิดจากการวางอาคารในลักษณะต่างๆ (ที่มา: passive cooling : ventilation ,fuller moore,1993:180)

แต่จากการศึกษาของ Evan พบว่าระยะระหว่างอาคารที่เหมาะสมควรประมาณ 5 เท่าของความสูงของอาคารด้านปะทะลม และได้ประมาณค่าขอบเขตของพื้นที่เงาลมเพื่อหาระยะห่างที่เหมาะสมในการวางกลุ่มอาคารที่ซ้อนกัน พบว่าระยะห่างจะขึ้นอยู่ความสูงของอาคาร รูปทรงหลังคาความกว้างและความลึกของอาคาร ดังตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 แสดงความยาวของเงาลม โดยพิจารณาจากความสูง ความกว้างและความยาวของอาคาร (ที่มา: Evans, 1959)

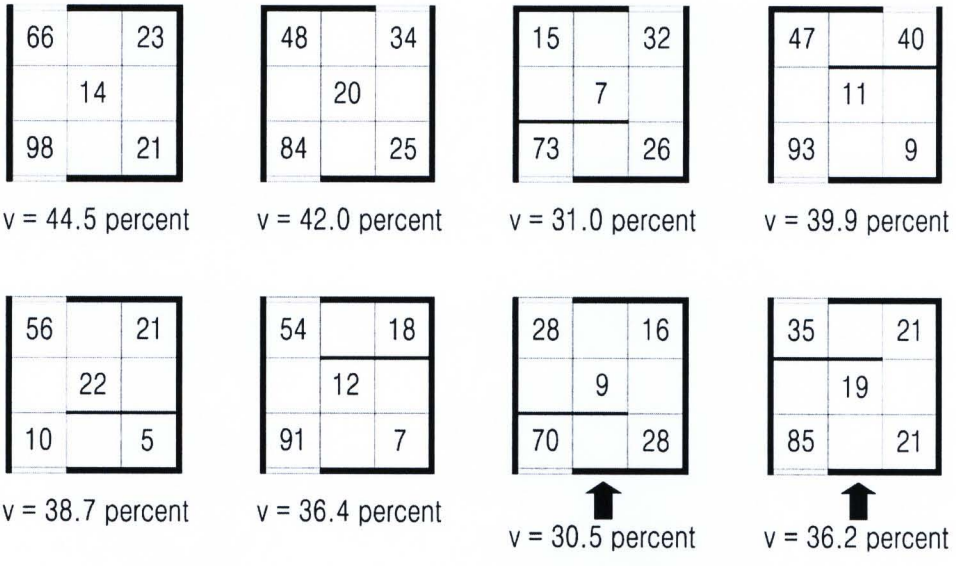
รูปทรงอาคาร			ความยาวของพื้นที่อับลม (XH) ความยาวของอาคาร (L)					ทิศทางของลม
ความกว้าง (W)	ความสูง (H)	มุมเงยหลังคา(องศา)	2A	4A	8A	16A	24A	
A	A	0	2 1/2	3 3/4	5 1/4	8	8 3/2	
2A	A	0	2	2 3/4	3 3/4	6	7	
3A	A	0	2 1/4	3 1/4	4 1/2	5 3/4	5 1/2	
A	2A	0	5 1/4	8 1/4	11 3/4	16 1/4	18	
A	3A	0	6 3/4	11 1/2	16 1/2	18 3/4	20 3/4	
2A	2A	45	2 3/4	5 1/4	9 1/4	13 1/4	15	
2A	1.6A	30	3	4	6 3/4	10	13	
2A	1.5A	15	3	5 1/4	8 1/4	11 1/2	14 1/2	
2A	1.5A	15	2 1/2	4 1/2	6 1/2	11	13 3/4	

นอกจากนี้รูปทรงของอาคารยังมีผลต่อความเร็วลมภายในอาคารอีกด้วย จากการศึกษาอิทธิพลของรูปทรงหลังคาต่อการไหลเวียนกระแสลมภายในอาคารของ Kindangen,.Krauss และ Depecker[2] โดยทำการทดสอบห้องจำลองที่ประกอบด้วยช่องเปิด 2 ด้านอยู่ตรงข้ามกันกับหลังคาในหลายๆ รูปแบบ พบว่าสำหรับหลังคาที่มีรูปแบบเหมือนกัน ความเร็วลมภายในอาคารจะแปรผันตามกับความสูงหลังคาเมื่อกระแสลมพัดมาทำมุมในช่วงระหว่าง 0 ถึง 30 องศากับด้านปะทะลม และจะแปรผกผันเมื่อกระแสลมพัดมาทำมุมในช่วงระหว่าง 60 ถึง 90 องศากับด้านปะทะลม

ในกรณีที่ความสูงของหลังคาเท่ากัน รูปแบบหลังคาทรงจั่วจะทำให้ความเร็วลมภายในอาคารสูงสุดเมื่อกระแสลมพัดมาทำมุมระหว่าง 0 ถึง 30 องศา และรูปแบบหลังคาครึ่งวงกลมจะทำให้ความเร็วลมภายในอาคารสูงสุดเมื่อกระแสลมพัดมาทำมุมระหว่าง 60 ถึง 90 องศา และหลังคาทรงปิรามิดจะทำให้ความเร็วลมภายในอาคารเพิ่มขึ้นจากทุกทิศทาง

3. องค์ประกอบภายใน

โดยปกติช่องเปิดที่ผนังอาคารทั้งช่องเปิดลมเข้าและช่องเปิดลมออก จะมีค่าความต้านทานต่อการไหลเวียนของกระแสลม ซึ่งทำให้ความเร็วลมภายในอาคารต่ำกว่าภายนอก ดังนั้นเมื่อกระแสลมผ่านเข้ามาในอาคารที่มีผนังกั้นระหว่างช่องเปิดลมเข้าและลมออก ก็จะเป็นการเพิ่มความต้านทาน ซึ่งความต้านทานที่เพิ่มขึ้นนี้จะทำให้ความเร็วลมภายในอาคารลดลงอีก ทั้งนี้ทั้งนั้นก็ขึ้นอยู่กับขนาดและตำแหน่งของช่องเปิดผนังภายในซึ่งลมพัดผ่าน ดังภาพที่ 2.20



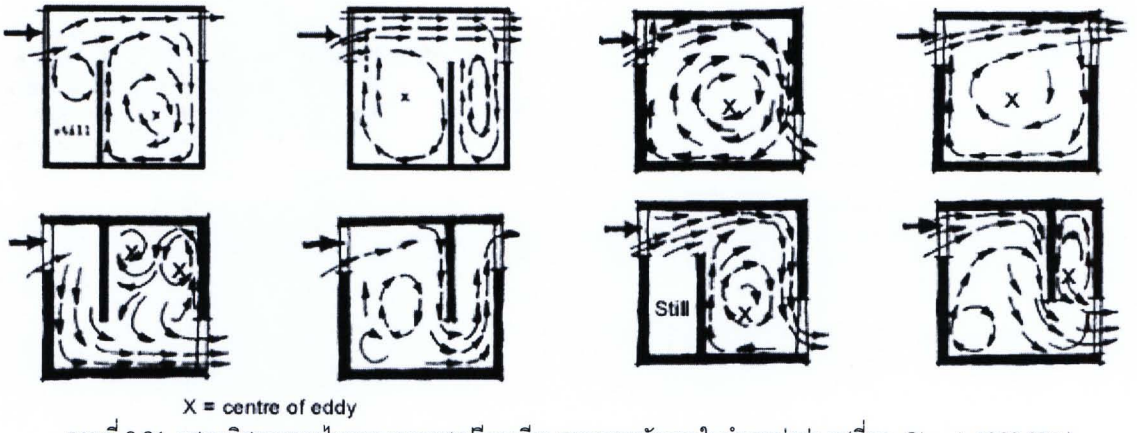
ภาพที่ 2.20 แสดงความเร็วลมภายในต่อความเร็วลมภายนอกเปรียบเทียบการวางผนังภายในตำแหน่งต่างๆ

(ที่มา: Givoni.,1969:273)

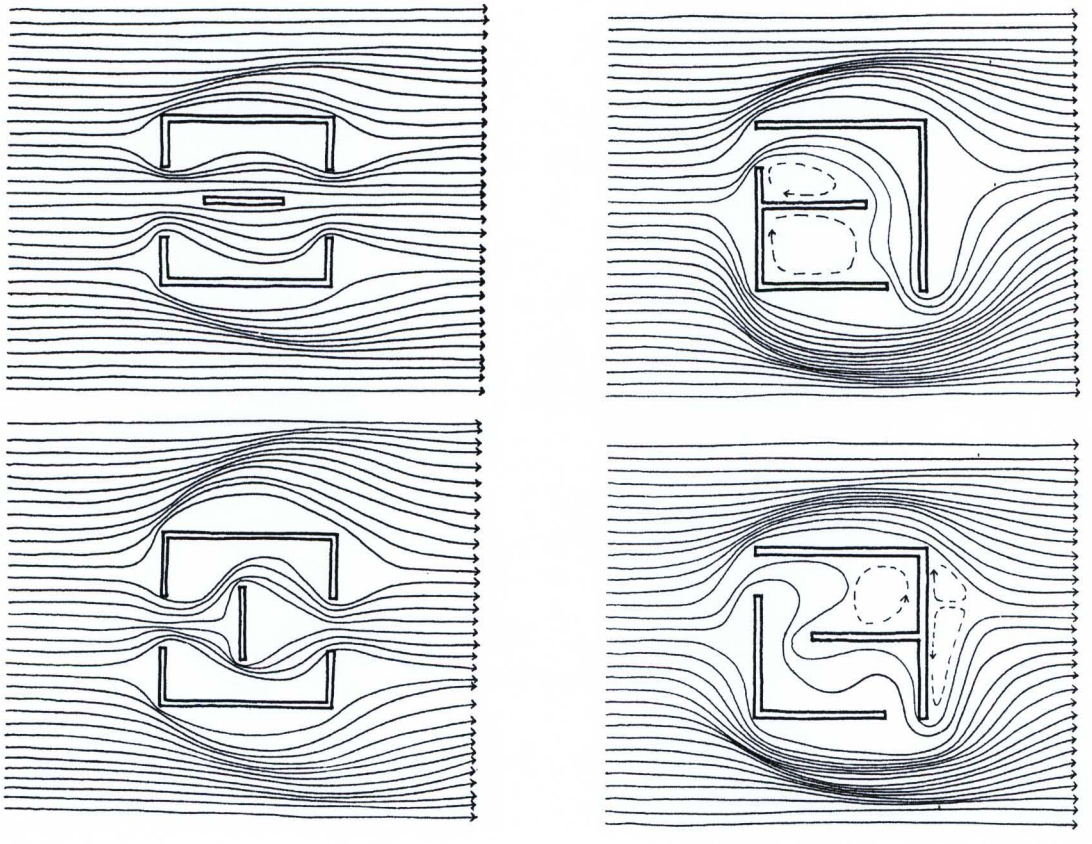
---

[2] Kindangen,J. Krauss,G. and Depecker,P. **Effects of Roof Shapes on Wind-Induced Air Motion Inside Buildings.** Building and Environment .Great Britain: Elsevier Science (32)1997 : 1-11.

การจัดวางองค์ประกอบภายใน ได้แก่ ผนังภายใน นอกจากจะทำให้เกิดความต้านทานซึ่งทำให้อัตราการไหลเวียนของกระแสลมน้อยลงแล้ว ยังเป็นตัวเปลี่ยนทิศทางและกระจายกระแสลมให้เกิดขึ้นในตำแหน่งที่ต้องการได้ โดยผนังกั้นที่อยู่ใกล้ช่องเปิดทางลมเข้ามาก ก็จะทำให้เกิดการเบี่ยงเบนของกระแสลมได้มาก (มาลินี ศรีสุวรรณ,2543) ดังนั้นขนาดและตำแหน่งของผนังภายในจึงเป็นส่วนสำคัญที่จะต้องพิจารณา เพราะหากกระแสลมที่ผ่านผนังภายในแต่ข้ามผ่านพื้นที่ใช้งานก็จะทำให้การระบายอากาศบริเวณพื้นที่ใช้งานไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร ดังภาพที่ 2.21



ภาพที่ 2.21 แสดงทิศทางการไหลของอากาศเปรียบเทียบการวางผนังภายในตำแหน่งต่างๆ(ที่มา: Givoni.,1969:274)

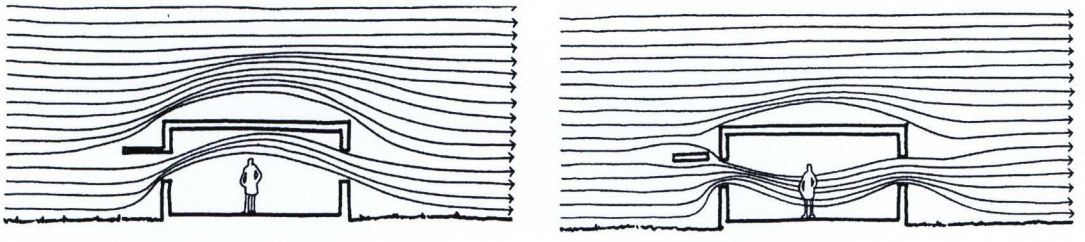


ภาพที่ 2.22 แสดงทิศทางการไหลของอากาศเปรียบเทียบการวางผนังภายในตำแหน่งต่างๆ

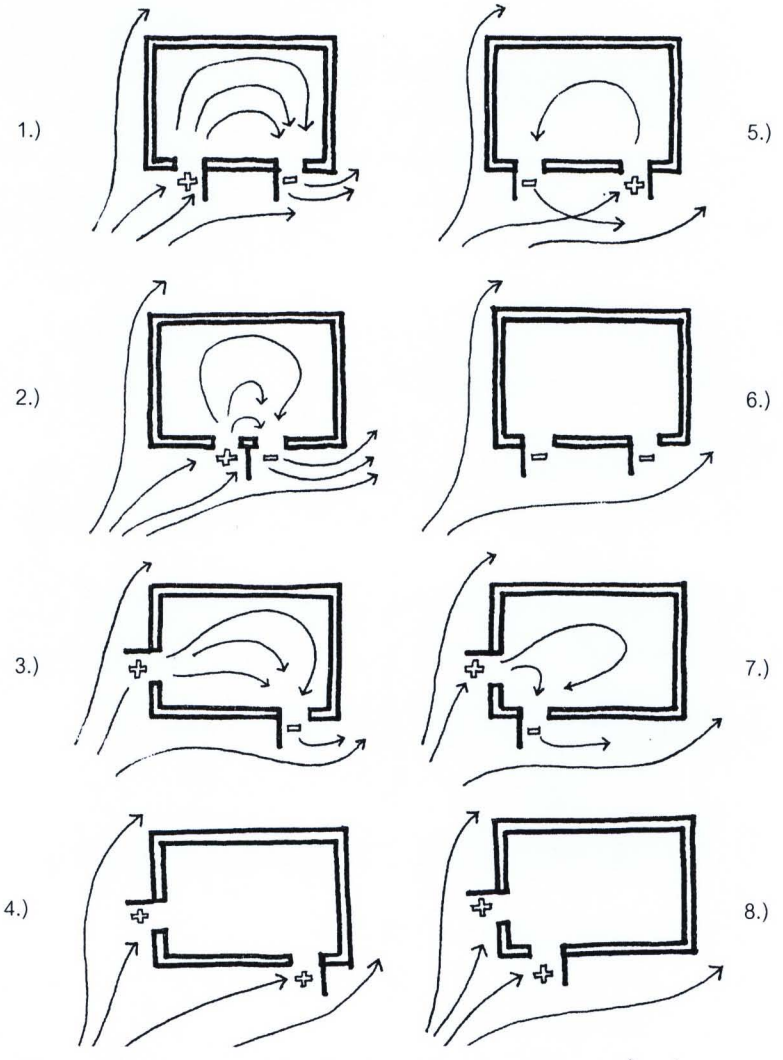
(ที่มา: passive cooling : ventilation ,fuller moore,1993:185-186)

4. องค์ประกอบภายนอก

ลักษณะของลมที่ผ่านเข้าสู่ภายในอาคารจะแตกต่างกันตามองค์ประกอบช่องเปิด เช่น กันสาด ส่วนยื่น แผงกันแดด เป็นต้น โดยองค์ประกอบเหล่านี้จะมีอิทธิพลสูงสุดเมื่ออยู่ใกล้ช่องเปิดลมเข้า ซึ่งรูปแบบองค์ประกอบทางตั้งและทางนอนจะทำให้เกิดการเบี่ยงเบนของกระแสลมที่ไม่เหมือนกัน



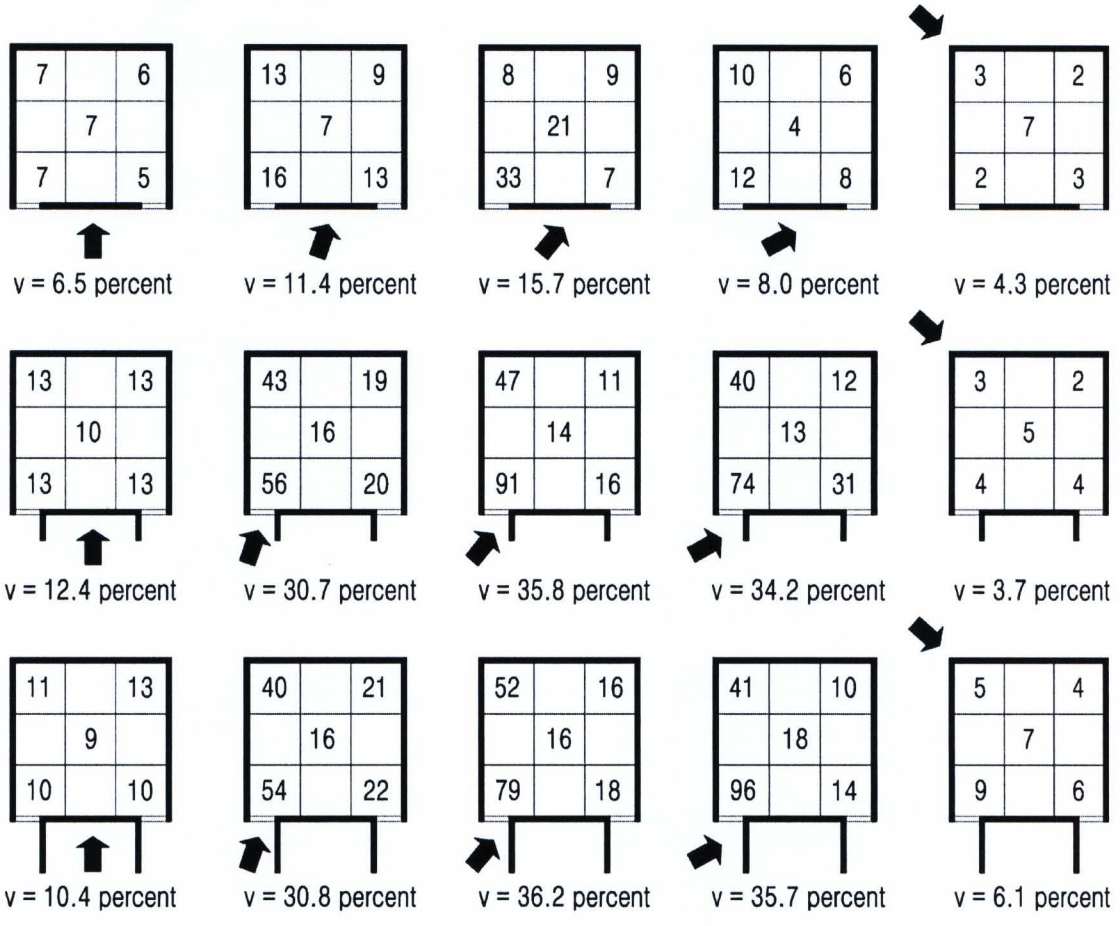
ภาพที่ 2.23 แสดงทิศทางการไหลของอากาศเปรียบเทียบลักษณะกันสาดแบบต่างๆ : รูปตัด (ที่มา: passive cooling : ventilation ,fuller moore,1993:184.)



ภาพที่ 2.24 แสดงทิศทางการไหลของอากาศเปรียบเทียบลักษณะกันสาดแบบต่างๆ : ผังพื้น (ที่มา: passive cooling : ventilation ,fuller moore,1993:181.)

จากภาพที่ 2.24 พบว่า องค์ประกอบช่องเปิดที่ติดตั้งแล้วทำให้เกิดประสิทธิภาพ ควรติดตั้งไม่ให้บดบังทิศทางลม โดยบริเวณช่องเปิดลมเข้า องค์ประกอบช่องเปิดควรติดตั้งบริเวณขอบช่องเปิดที่อยู่ด้านไกล เพื่อทำหน้าที่ในการดักลมให้เข้าภายในอาคาร ส่วนช่องเปิดลมออกจะติดตั้งในลักษณะตรงกันข้ามกับช่องเปิดลมเข้า ดังภาพที่ 1, 2, 3, 7 ขณะภาพที่ 4, 5, 6, 8 แสดงการติดตั้งที่ไม่มีประสิทธิภาพ

ในกรณีของการระบายอากาศด้านเดียว การใช้แผงดักลมทางตั้งระหว่างช่องเปิดสองช่องจะทำให้เกิดความแตกต่างความดันอากาศระหว่างความดันอากาศสูงด้านหน้าแผงดักลมสำหรับหน้าต่างด้านปะทะลมและเกิดความดันอากาศต่ำด้านหลังแผงดักลมของหน้าต่างด้านตรงข้ามกัน ทำให้เกิดแรงดูดจากหน้าต่างบานแรกสู่หน้าต่างบานที่สองเพิ่มมากขึ้นด้วย



ภาพที่ 2.25 แสดงความเร็วลมภายในต่อความเร็วลมภายนอกในทิศทางต่างๆเปรียบเทียบการใช้แผงดักลมลักษณะต่างๆ (ที่มา: Givoni.,1969:267)

นอกจากนี้ชายคาของอาคารยังมีผลต่อความเร็วลมภายในอาคารอีกด้วย จากการศึกษาอิทธิพลของชายคาต่อการไหลเวียนกระแสลมภายในอาคารของ Kindangen, Krauss และ Depecker โดยทำการทดสอบห้องจำลองที่ประกอบด้วยช่องเปิด 2 ด้านตรงข้ามกันกับชายคาในหลายๆรูปแบบ พบว่า สำหรับหลังคาที่มีส่วนยื่นเท่ากัน ชายคาของหลังคาแบบแบนราบจะทำให้ความเร็วลมภายในอาคารเพิ่มขึ้นสูงสุด 39% เมื่อกระแสลมตั้งฉากกับช่องเปิดด้านปะทะลม และจะลดลงเมื่อกระแสลมพัดทำมุมเฉียงเพิ่มขึ้นและเป็นจริงสำหรับทุกรูปแบบชายคาด้วย

2.3.3 การประเมินการไหลเวียนของกระแสลมภายในอาคาร

2.3.3.1 การประมาณการไหลเวียนกระแสลมด้วยการคำนวณ

การประมาณการไหลเวียนกระแสลมด้วยการคำนวณเป็นวิธีการประมาณอัตราการไหลเวียนกระแสลมที่ไม่ต้องการความแม่นยำมากนักมีหลายวิธี แต่ที่นิยมใช้มี 2 วิธี ได้แก่

1. The British standard method เป็นการประมาณอัตราการไหลเวียนของกระแสลมทั้งการรั่วไหลของอากาศ (infiltration) การไหลเวียนอากาศด้านเดียว (single-side) และการไหลเวียนอากาศผ่านตัวอาคาร (cross ventilation) วิธีการคำนวณจะเน้นที่การไหลของอากาศเนื่องจากแรงลมและจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ซึ่งไม่รวมถึงอิทธิพลของรูปทรงและลักษณะผนังภายในอาคาร โดยสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3

$$Q = K A V \qquad (3)$$

โดยที่

Q = ปริมาณลม (ลูกบาศก์ฟุตต่อชั่วโมง)

K = ค่าคงที่ของอัตราส่วนของช่องลมเข้าและออก

A = พื้นที่ทางเข้า (ตารางฟุต)

V = ความเร็วลม (ฟุตต่อชั่วโมง)

ตารางที่ 2.12 แสดงค่าคงที่ K เปลี่ยนตามอัตราส่วนของช่องเปิดที่เปลี่ยนแปลง (ที่มา: Olgyay,1992:104)

อัตราส่วนของช่องลมเข้าและออก	K
1:1	3150
2:1	4000
3:1	4250
4:1	4350
5:1	4400
3:4	2700
1:2	2000
1:4	1100

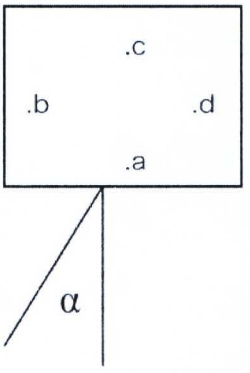
2. The Aynsley method เป็นวิธีที่เหมาะกับกรณีของการไหลเวียนกระแสลมผ่านตัวอาคาร (cross ventilation) โดยถือว่าช่องเปิดมี 2 ช่องอยู่ด้านตรงข้ามกัน แต่ต้องใช้ค่า Cp1 และ Cp2 หรือค่าสัมประสิทธิความดันอันเนื่องมาจากการกระทำของแรงลมในแต่ละด้าน แสดงได้ดังสมการที่ 4

$$Q = \sqrt{\frac{Cp1 - Cp2}{\frac{1}{A^2_1 Cd^2_1} + \frac{1}{A^2_2 Cd^2_2}}} * V \qquad (4)$$

โดยที่

Q	=	อัตราการไหลเวียนของกระแสลม (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)
Cp1	=	ค่าสัมประสิทธิ์ความดันด้านลมเข้า
Cp2	=	ค่าสัมประสิทธิ์ความดันด้านลมออก
Cd1	=	ค่าสัมประสิทธิ์ช่องลมเข้า (discharge coefficients)
Cd2	=	ค่าสัมประสิทธิ์ช่องลมออก (discharge coefficients)
A1	=	พื้นที่ช่องลมเข้า (ตารางเมตร)
A2	=	พื้นที่ช่องลมออก (ตารางเมตร)
V	=	ความเร็วลมภายนอก (เมตรต่อวินาที)

โดยค่า Cd1 และ Cd2 จะขึ้นอยู่กับความกว้างและลึกของช่องเปิด ซึ่งโดยทั่วไปแล้วให้ใช้ค่า 0.6 แทนลงไปในสมการได้เลย ส่วนค่า Cp1 และ Cp2 สามารถดูได้จากตารางที่ 2.13



ตารางที่ 2.13 แสดงค่า Cp สำหรับลมที่กระทำในทิศต่างๆ (ที่มา: Allard, 1998:127)

มุม α ที่ลมกระทำ	ค่า Cp ที่ a	ค่า Cp ที่ b	ค่า Cp ที่ c	ค่า Cp ที่ d
0.0	0.40	-0.40	-0.20	-0.40
22.5	0.40	-0.06	-0.40	-0.60
45.0	0.25	0.25	-0.40	-0.45
67.5	0.06	0.30	-0.55	-0.40
90	0.40	0.40	-0.40	-0.25

เมื่ออาคารไม่เป็นไปตามรูปร่างที่กำหนดให้ไว้ให้ใช้ค่า Cp1 เท่ากับ 0.4 ส่วนค่า Cp2 เท่ากับ -0.25 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัดจากอาคารรูปร่างต่างๆ สำหรับช่องลมออกของหลังคาให้ใช้ค่า Cp2 เท่ากับ -0.30

จะเห็นได้ว่าค่า Cp จะขึ้นอยู่กับมุมที่ลมกระทำ รูปร่างอาคาร และตำแหน่งของช่องเปิด ดังนั้นวิธีการประมาณอัตราการไหลเวียนของกระแสลมวิธีนี้จะละเอียดกว่าวิธีแรก ผลของการคำนวณที่ได้จึงค่อนข้างจะแม่นยำกว่า การใช้งานจะใช้งานได้กว้างขวางกว่า แต่การคำนวณจะยุ่งยากกว่าวิธีแรก การใช้งานจึงต้องดูถึงจุดประสงค์เป็นหลัก

เนื่องจากการคาดคะเนการไหลเวียนของอากาศจำเป็นต้องอาศัยความรู้ประสบการณ์และทฤษฎีประกอบเป็นจำนวนมาก การคำนวณแม้จะให้ผลที่รวดเร็วแต่ไม่สามารถให้ข้อมูลที่ครบถ้วนสำหรับการวิเคราะห์เพื่อการออกแบบได้ การศึกษาโดยการจำลองสถานการณ์ด้วยเครื่องมือต่างๆ จึงเข้ามามีบทบาทสำคัญในการช่วยตัดสินใจมากยิ่งขึ้น ดังจะได้กล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

2.3.3.2 การประมาณการไหลเวียนกระแสลมด้วยการคำนวณ

ปัจจุบันสามารถประมาณการไหลเวียนกระแสลม ได้ดังนี้

1. โต๊ะจำลองของไหล เป็นอุปกรณ์ทดสอบในลักษณะ 2 มิติ โดยอาศัยการสร้างแบบจำลองของผังพื้น รูปตัดในมาตราส่วนต่างๆ เพื่อเป็นตัวแทนของกรณีศึกษาและใช้ลักษณะของกระแสน้ำที่ไหลผ่านแบบจำลองเป็นตัวแทนการไหลเวียนของอากาศ เหมาะสมกับการศึกษาในขั้นต้นที่ต้องการทราบลักษณะการไหลเวียนอากาศโดยคร่าว

2. อุโมงค์ลม เป็นอุปกรณ์ทดสอบในลักษณะ 3 มิติ โดยอาศัยการสร้างแบบจำลอง 3 มิติในมาตราส่วนต่างๆ เพื่อเป็นตัวแทนของกรณีศึกษาและปล่อยอากาศหรือควันผ่านแบบจำลองภายในอุโมงค์ลมด้วยความเร็วลมต่างๆ เพื่อเป็นตัวแทนของการไหลเวียนอากาศ จึงเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูง เหมาะสมกับการศึกษาลักษณะการไหลเวียนอากาศที่ต้องการความถูกต้องแม่นยำสูง

3. การคำนวณพลศาสตร์ของไหล โดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ประเภท CFD (computational fluid dynamics) ซึ่งพัฒนาขึ้นจากกฎ และทฤษฎีพลศาสตร์ของไหล โดยเป็นการคำนวณจากสมการที่ได้รับการยอมรับว่าถูกต้อง จึงเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงใกล้เคียงกับอุโมงค์ลม การทดสอบอาศัยการสร้างแบบจำลองทั้ง 2 มิติ และ 3 มิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อเป็นตัวแทนของกรณีศึกษา แล้วกำหนดคุณสมบัติต่างๆของอากาศในโปรแกรม โปรแกรมจะทำการคำนวณแล้วแสดงผลลักษณะการไหลเวียนของอากาศ และค่าความเร็วลมที่ต้องการทราบเป็นตัวเลข สี และกราฟิกที่ชัดเจน จึงเหมาะสมทั้งกับการศึกษาที่ต้องการทราบลักษณะการไหลเวียนอากาศอย่างคร่าวๆและการศึกษาที่ต้องการความแม่นยำสูง

เครื่องมือทั้งสามประเภทมีข้อดี-ข้อเสียรวมทั้งความเหมาะสมกับงานออกแบบสถาปัตยกรรมในขั้นตอนที่แตกต่างกัน ดังสรุปในตารางที่ 2.14

ตารางที่ 2.14 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติเครื่องมือการจำลองการระบายอากาศประเภทต่างๆ (ที่มา อัจฉราวรรณ จุฑารัตน์ และคณะ, 2547:8-7)

คุณสมบัติ	โต๊ะจำลองของไหล	อุโมงค์ลม	การคำนวณพลศาสตร์ของไหล
ความถูกต้องแม่นยำ	ต่ำ	สูง	สูง
ความครบถ้วนของข้อมูล	ต่ำ (เฉพาะรูปแบบการไหลในสองมิติ)	ปานกลาง (ครบถ้วน ยกเว้นอุณหภูมิและความเข้มข้นของก๊าซ)	ครบถ้วน
การสร้างความเข้าใจต่อผลจำลอง	ปานกลาง (ด้วยสีของของเหลวที่ผสมกับน้ำ)	ยาก (ด้วยควันที่ผสมกับอากาศและค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์วัด)	ง่าย (ด้วยกราฟิกสีและเวกเตอร์)
ค่าใช้จ่าย	ต่ำ	สูง	ปานกลาง
ระยะเวลา	สั้น	นาน	ปานกลาง
ความต้องการความรู้พิเศษ	น้อย	ปานกลาง	มาก
ความเหมาะสมกับกระบวนการออกแบบ	ขั้นต้น	ขั้นปลาย	ตั้งแต่ขั้นต้นถึงขั้นปลาย

จากการศึกษาเรื่องกระแสลมกับการระบายอากาศพบว่า รูปแบบการระบายอากาศแต่ละลักษณะก็ให้ประสิทธิภาพในการระบายอากาศในระดับที่แตกต่างกัน สำหรับงานวิจัยนี้ต้องการนำการระบายอากาศมาใช้เพื่อทำให้เกิดการไหลเวียนของลมที่มีประสิทธิภาพในอาคาร ซึ่งจากการศึกษาพบว่า จำเป็นต้องอาศัยรูปแบบการระบายอากาศแบบลมพัดผ่านตลอด เพราะทำให้เกิดความเร็วลมสูงสุดภายในอาคาร ส่วนรูปแบบอื่นๆของการระบายอากาศเป็นเพียงส่วนช่วยเสริมให้ระบบระบายอากาศภายในอาคารทั้งหมดมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การออกแบบอาคารให้เกิดการระบายอากาศแบบลมพัดผ่านตลอดจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ คือ ทิศทางกระแสลมภายนอก ช่องเปิด (ตำแหน่ง,ชนิด,ขนาด และความสูง) และองค์ประกอบภายใน (ตำแหน่งผนังภายใน) ซึ่งจำเป็นต้องนำไปวิเคราะห์ร่วมกับลักษณะการใช้งานขององค์ประกอบในปัจจุบันเพื่อกำหนดตัวแปรที่จะทำการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

เนื่องจากงานวิจัยเน้นการศึกษาปัจจัยในเชิงปริมาณ จำเป็นต้องอาศัยการประเมินปัจจัยด้วยการเปรียบเทียบความเร็วลมภายนอกต่อความเร็วลมภายในอาคาร ซึ่งจากการศึกษาวิธีการประมาณการไหลเวียนกระแสลมภายในอาคารพบว่า การจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลมีความเหมาะสมที่สุด เพราะมีความถูกต้องแม่นยำสูงและสามารถจำลองด้วยแบบจำลองได้ทั้ง 2 และ 3 มิติ ซึ่งให้ข้อมูลครบถ้วนทั้งในเรื่องความเร็วลมและทิศทาง และสามารถดัดแปลงและแก้ไขแบบจำลองได้ง่าย

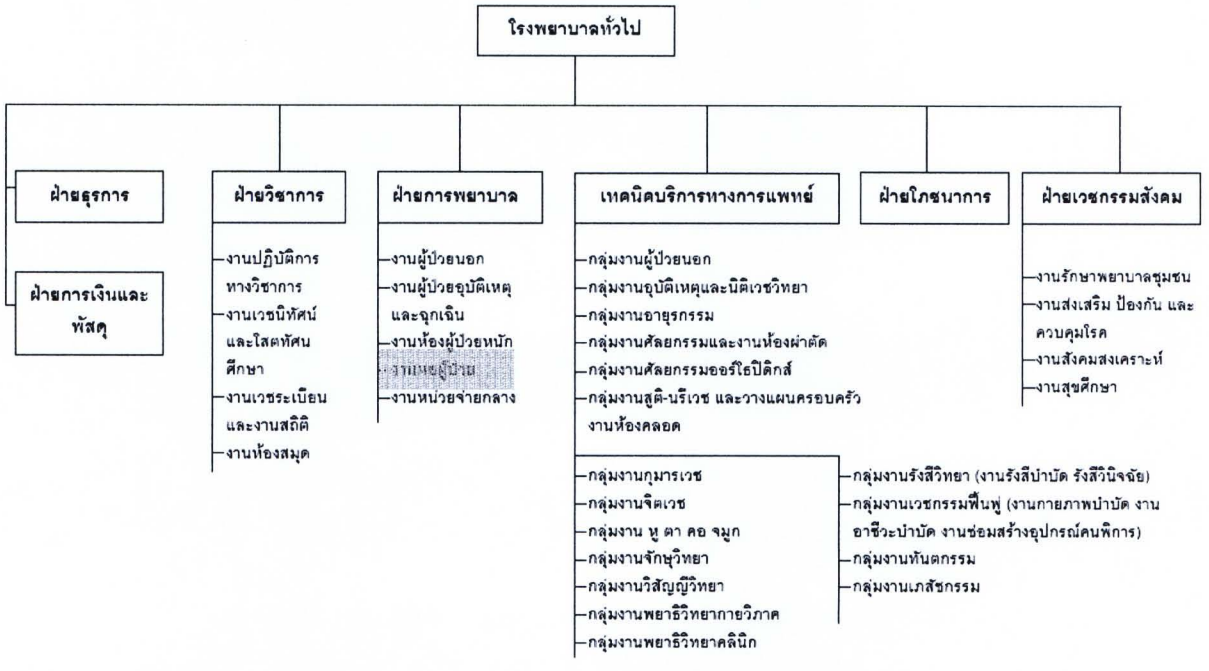
2.4 การระบายอากาศในโรงพยาบาล

โรงพยาบาลเป็นอาคารสาธารณะที่ให้บริการรักษาพยาบาลผู้ป่วย ตลอด 24 ชั่วโมง ซึ่งทั้งนี้องค์การอนามัยโลก (World Health Organization ; WHO) ได้ให้ความหมายของโรงพยาบาลไว้ว่าเป็นองค์กรที่ทำงานด้านการแพทย์ทั้งในสถานที่และในชุมชน มีหน้าที่ในการให้บริการสาธารณสุขทุกด้านแก่ประชาชนทั้งด้านการรักษาพยาบาล การป้องกันโรค การบริการผู้ป่วย นอกจากนี้โรงพยาบาลยังเป็นที่ฝึกอบรมของบุคลากร

สาธารณสุขและค้นคว้าวิจัยปัญหาสาธารณสุขของชุมชน ตลอดจนการศึกษา การค้นคว้า และการวิจัยในด้านการแพทย์ ด้านการสาธารณสุข และด้านอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อการแก้ปัญหาและการพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชาชน

2.4.1 **องค์ประกอบของโรงพยาบาล**

โรงพยาบาลสามารถแบ่งองค์ประกอบขององค์กรออกเป็นหลายฝ่าย ได้แก่ ฝ่ายธุรการ ฝ่ายวิชาการ ฝ่ายการเงินและพัสดุ ฝ่ารการพยาบาล ฝ่ายเทคนิคบริการทางการแพทย์ ฝ่ายโภชนาการ และฝ่ายเวชกรรมสังคม ดังแผนภูมิที่ 2.1



แผนภูมิที่ 2.1 แสดงการแบ่งส่วนการทำงานตามองค์ประกอบโรงพยาบาลทั่วไป (ที่มา: กระทรวงสาธารณสุข)

2.4.2 **ลักษณะของหอผู้ป่วยโรงพยาบาล**

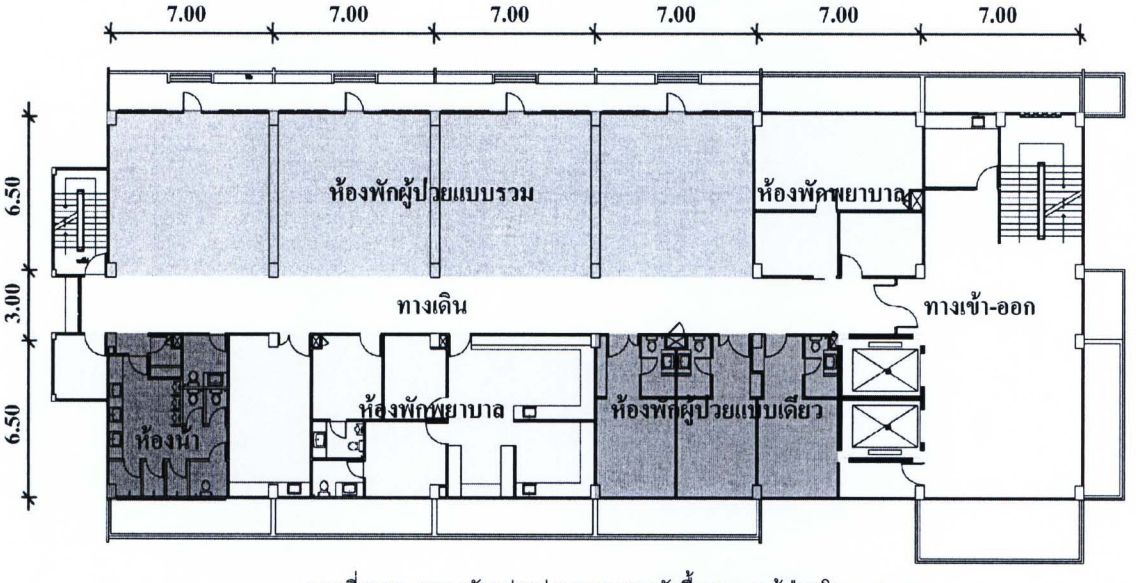
หอผู้ป่วยโรงพยาบาลที่ทำการศึกษาในงานวิจัยชิ้นนี้ เป็นหอผู้ป่วยประเภทสามัญ ที่มีการระบายอากาศด้วยวิธีทางธรรมชาติ โดยได้ทำการคัดเลือกโรงพยาบาลรัฐบาลมาเป็นกรณีศึกษา[3] เนื่องจากมีรูปแบบผังพื้นที่เป็นมาตรฐาน ออกแบบโดยกองแบบแผน กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข

ผังพื้นของหอผู้ป่วยโรงพยาบาล จะประกอบไปด้วย ห้องพักรักษาตัวของผู้ป่วย (Ward) ซึ่งมีทั้งแบบห้องรวม ห้องคู่และห้องเดี่ยว โดยปกติโรงพยาบาลของรัฐจะมีห้องรวมจำนวนมาก ห้องพักพยาบาล

---

[3] Vorapat INKAROJRIT and Polpat Nil-Ubon , **Natural Ventilation in Thai Hospitals: A Field Study** ,Faculty of Architecture, Chulalongkorn University

(Nurse Station) เป็นส่วนพักของพยาบาลและเจ้าหน้าที่ ทำหน้าที่ในการดูแลคนไข้ที่อยู่ในบริเวณการดูแลของตน นอกจากนี้ยังมี ทางเดินกลาง ส่วนพักผู้ป่วยวัณโรค ส่วนบริการต่างๆ ดังภาพที่ 2.26



ภาพที่ 2.26 แสดงตัวอย่างรูปแบบการวางผังพื้นของหอผู้ป่วยโรงพยาบาล

จากการทบทวนวรรณกรรมเรื่องการประเมินประสิทธิภาพการระบายอากาศด้วยวิธีทางธรรมชาติของโรงพยาบาล พบว่ายังคงมีจำนวนน้อย ตัวอย่างเช่น Qian et al[4] พบว่าอัตราการระบายอากาศที่เพียงพอสามารถทำได้ในห้องแยกผู้ป่วยเดี่ยวในประเทศฮ่องกง และการติดตั้งพัดลมระบายอากาศสามารถช่วยเสริมสร้างสภาวะความดันต่ำที่เพียงพอ ในกรณีที่แรงกระทำจากลมธรรมชาติไม่เพียงพอ Escombe et al[5] พบว่าหน้าต่างและประตูมีอัตราการถ่ายเทอากาศ (Air Change per Hour : ACH) ที่ 28 ACH โดยทำการศึกษาจากโรงพยาบาลแปดแห่งใน Lima, Peru

2.4.3 **หลักเกณฑ์การระบายอากาศในโรงพยาบาล**

โรงพยาบาลต้องการการดูแล แก้ไข ปรับปรุงและอยู่ในประเด็นของการศึกษาวิจัยจากผู้ทำการศึกษาทั่วโลก เนื่องจากนอกจากเรื่องโรคอาคารป่วยที่เกิดขึ้นภายในอาคารแล้ว ยังมีเรื่องของเชื้อโรคและสิ่งปนเปื้อนต่างๆเข้ามาเกี่ยวข้องกับการดำรงของชีวิต จึงมีความจำเป็นต้องคำนึงถึงมาตรฐานความปลอดภัยเรื่องการแพร่กระจายของเชื้อโรคที่นับวันจะสร้างปัญหาต่อสุขภาพมากขึ้น โดยเฉพาะโรคที่สามารถเผยแพร่ผ่านทางอากาศได้ เช่น โรควัณโรค หรือแม้กระทั่งโรคติดต่อที่เป็นความเสี่ยงอุบัติใหม่ (Emerging

---

[4] Qian, H., et al. **Natural Ventilation for Reducing Airborne Infection in Hospitals.** Building and Environment (45)2010 : 559-565.

[5] Escombe, A.R., et al. **Natural Ventilation for the Prevention of Airborne Contagion.** PLOS Medicine (4)2007 :309-316..

risk) ที่ยากต่อการควบคุม เช่น ไข้หวัดนก ที่มีมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ท่ามกลางสถานการณ์เช่นนี้ ส่งผลให้จำนวนผู้ป่วยที่ไปรับบริการยังสถานพยาบาลเพิ่มมากขึ้นทุกปี ทำให้เกิดความยากลำบากในการควบคุมและป้องกันโรค

ดังนั้นเพื่อเป็นการลดการติดเชื้อวัณโรค องค์การอนามัยโลก (World Health Organization ; WHO) และศูนย์ป้องกันและควบคุมโรค (Center for Disease Control and Prevention ; CDC) จึงได้เสนอแนวทางการควบคุมการติดเชื้อ ซึ่งการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ ที่อยู่ในขั้นที่สองของการควบคุมการแพร่กระจายเชื้อ เป็นหนึ่งในกลยุทธ์ในการควบคุมสภาพแวดล้อมจากการติดเชื้อทางอากาศในสถานบริการทางด้านสาธารณสุขที่มีทรัพยากรอย่างจำกัดให้มีประสิทธิภาพ โดยจะมีการกำหนดอัตราการนำเข้าอากาศภายนอก (ไม่น้อยกว่าจำนวนเท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง) อัตราการหมุนเวียนอากาศภายใน (ไม่น้อยกว่าจำนวนเท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง) และความดันสัมพันธ์กับพื้นที่ข้างเคียง ดังตารางที่ 2.15

ตารางที่ 2.15 แสดงการกำหนดอัตราการนำเข้าอากาศภายนอก อัตราการหมุนเวียนอากาศภายใน และความดันสัมพันธ์กับพื้นที่ข้างเคียง (ที่มา: 2003 ASHRAE Applications Handbook)

ลำดับ	สถานที่	อัตราการนำเข้าอากาศภายนอก(ไม่น้อยกว่าจำนวนเท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง)	อัตราการหมุนเวียนอากาศภายใน(ไม่น้อยกว่าจำนวนเท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง)	ความดันสัมพันธ์กับพื้นที่ข้างเคียง
1	ห้องผ่าตัด	5	25	สูงกว่า
2	ห้องคลอด	5	25	สูงกว่า
3	หน่วยทารกแรกเกิด (Nursery)	5	12	สูงกว่า
4	ห้องผู้ป่วยหนัก(ICU)	2	6	สูงกว่า
5	ห้องตรวจรักษา	2	6	สูงกว่า
6	ห้องฉุกเฉิน(ER)	5	12	สูงกว่า
7	บริเวณพักคอยผู้ป่วยนอกและห้องฉุกเฉิน	2	12	สูงกว่า
8	ห้องพักผู้ป่วย	2	6	สูงกว่า
9	ห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อ	2	12	ต่ำกว่า
10	ห้องทดลอง	2	6	ต่ำกว่า
11	ห้องชันสูตรศพ	2	12	ต่ำกว่า

ขอบเขตที่ทำการศึกษา

ASHRAE Std62-1989:Ventilation ได้เสนอแนะอัตราการไหลต่ำสุดของอากาศจาก ภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร (นอกเหนืออัตราการเปลี่ยนถ่ายอากาศ) ซึ่งเท่ากับ 10 ลิตรต่อวินาทีต่อคน การควบคุมการให้อัตราการไหลของอากาศจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารนี้ เรียกว่า "Ventilation Rate Procedure" ซึ่งวิธีนี้ไม่จำเป็นต้องคำนวณหรือประเมินอัตราการเกิดของสารปนเปื้อนในอาคาร

ในส่วนของความเร็วลม (V) ได้มีการอ้างอิงเกณฑ์มาตรฐานโดย Singapore: Guidelines for good indoor air quality in office premises,2010 ซึ่งกำหนดความเร็วลมมาตรฐานที่ 0.1 - 0.3 เมตรต่อวินาที

สำหรับประเทศไทยนั้น ยังไม่มีหน่วยงานใด กำหนดเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศ ภายในอาคาร โดยตรง แต่ก็มีกฎหมายบางฉบับที่เกี่ยวข้อง คือ

- กฎกระทรวงฉบับที่ 33 (พ.ศ.2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุม อาคาร พ.ศ. 2522 หมวด 2 ระบบระบายอากาศ ระบบไฟฟ้า และระบบป้องกันเพลิงไหม้ ได้กำหนดอัตราการระบายอากาศในอาคารสูง หรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษไว้ ได้แก่ โรงพยาบาล ห้องพักในโรงแรม หรืออาคารชุด สำนักงาน ฯลฯ

  ข้อ 9 การระบายอากาศในอาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษต้องจัดให้มีการระบายอากาศ โดยวิธีธรรมชาติหรือโดยวิธีกล ดังต่อไปนี้

  (1) การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ ให้ใช้เฉพาะกับพื้นที่มีผนังด้านนอกอย่างน้อยหนึ่งด้าน โดยมีช่องเปิดสู่ภายนอกอาคารได้ เช่น ประตู หน้าต่าง หรือ บานเกล็ด ซึ่งต้องเปิดไว้ระหว่างใช้สอยพื้นที่นั้นๆ และพื้นที่ของช่องเปิดนี้ต้องเปิดได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 ของพื้นนั้น

  (2) การระบายอากาศโดยวิธีกล ให้ใช้กับพื้นอาคารใดก็ได้ โดยให้มีอุปกรณ์ขับเคลื่อนอากาศ เพื่อให้เกิดการนำอากาศภายนอกเข้ามาตามอัตราดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.16 แสดงอัตราการระบายอากาศโดยวิธีกล (ที่มา : กฎกระทรวงฉบับที่ 33 (พ.ศ.2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522 หมวด 2 ระบบระบายอากาศ ระบบไฟฟ้า และระบบป้องกันเพลิงไหม้ ข้อที่ 9 (2))

ลำดับ	สถานที่ (ประเภทการใช้)	อัตราการระบายอากาศไม่น้อยกว่าจำนวนเท่าของปริมาตรของห้องใน 1 ชั่วโมง
1	**ห้องน้ำ ห้องส้วม ของที่พักอาศัยหรือสำนักงาน**	2
2	**ห้องน้ำ ห้องส้วม ของอาคารสาธารณะ**	4
3	**ที่จอดรถที่อยู่ต่ำกว่าระดับพื้นดิน**	4
4	**โรงงาน**	4
5	**โรงมหรสพ**	4
6	**สถานที่จำหน่ายอาหารและเครื่องดื่ม**	7
7	**สำนักงาน**	7
8	**ห้องพักในโรงแรมหรืออาคารชุด**	7
9	**ห้องครัวของที่พักอาศัย**	12
10	**ห้องครัวของสถานที่จำหน่ายอาหารและเครื่องดื่ม**	24
11	**ลิฟต์โดยสารและลิฟต์ดับเพลิง**	30

สำหรับห้องครัวของสถานที่จำหน่ายอาหารและเครื่องดื่ม จะให้มีอัตราการระบายอากาศน้อยกว่าที่กำหนดได้ แต่ต้องมีการระบายอากาศครอบคลุมแหล่งที่เกิดของกลิ่น ควัน หรือก๊าซที่ต้องการระบาย ทั้งนี้ต้องไม่น้อยกว่า 12 เท่าของปริมาตรของห้องใน 1 ชั่วโมง

สถานที่อื่นๆ ที่มิได้ระบุไว้ในตารางให้ใช้อัตราการระบายอากาศของสถานที่ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน

ตำแหน่งช่องนำอากาศเข้าโดยวิธีกลต้องห่างจากที่เกิดอากาศเสียและช่องระบายอากาศทิ้งไม่น้อยกว่า 5.00 เมตร สูงจากพื้นดินไม่น้อยกว่า 1.50 เมตร

การนำอากาศเข้าและการระบายอากาศทิ้งโดยวิธีกล ต้องไม่ก่อให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญแก่ประชาชนผู้อยู่อาศัยใกล้เคียง

ข้อ 10 การระบายอากาศในอาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษที่มีการปรับภาวะอากาศ ต้องมีลักษณะดังต่อไปนี้

(1) ต้องมีการนำอากาศภายนอกเข้ามาในพื้นที่ปรับภาวะอากาศหรือดูดอากาศจากภายในพื้นที่ปรับภาวะอากาศออกไปไม่น้อยกว่าอัตราที่กำหนด ดังตารางที่ 2.17

ตารางที่ 2.17 แสดงอัตราการนำอากาศภายนอกเข้ามาในพื้นที่หรือดูดอากาศออก

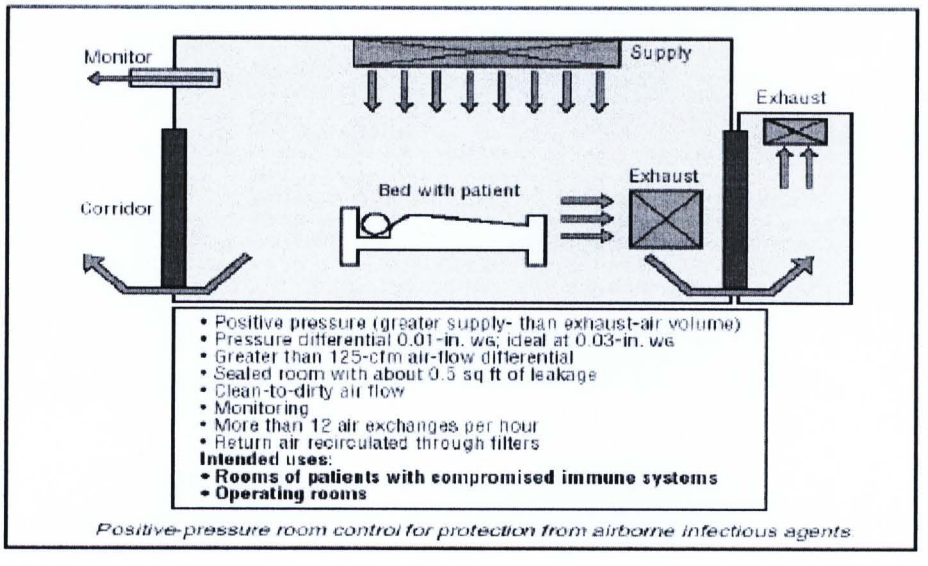
ลำดับ	สถานที่ (ประเภทการใช้)	ลูกบาศก์เมตร ต่อชั่วโมง ต่อตารางเมตร
1	ห้างสรรพสินค้า (ทางเดินชมสินค้า)	2
2	โรงงาน	2
3	สำนักงาน	2
4	สถาน อาบ อบ นวด	2
5	ชั้นติดต่อธุระกับธนาคาร	2
6	ห้องพักโรงแรมหรืออาคารชุด	2
7	ห้องปฏิบัติการ	2
8	ร้านตัดผม	3
9	สถานโบว์ลิ่ง	4
10	โรงมหรสพ	4
11	ห้องเรียน	4
12	สถานบริหารร่างกาย	5
13	ร้านเสริมสวย	5
14	ห้องประชุม	6
15	ห้องน้ำ ห้องส้วม	10
16	สถานที่จำหน่ายอาหารและเครื่องดื่ม (ห้องรับประทานอาหาร)	10
17	ไนต์คลับ บาร์หรือสถานลีลาศ	10
18	ห้องครัว	30
19	โรงพยาบาล - ห้องคนไข้ - ห้องผ่าตัด และ ห้องคลอด - ห้อง ไอ ซี ยู	 2 8 5

สถานที่อื่นๆ ที่มิได้ระบุไว้ในตารางให้ใช้อัตราการระบายอากาศของสถานที่ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน

- ประกาศกระทรวงสาธารณสุขที่ 6/2538 เรื่อง กำหนดจำนวนคนต่อจำนวนพื้นที่ ของอาคารที่พักอาศัยที่ถือว่า มีคนอยู่มากเกินไป ภายใต้พระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ.2535 ได้กำหนดพื้นที่ในอาคารให้มี ไม่น้อยกว่า 3 ตารางเมตร/คน และได้กำหนดเช่นเดียวกันนี้ สำหรับพื้นที่ของคนงานก่อสร้าง และของอาคารโรงงานด้วย ในประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 7/2538 และ 8/2538 ตามลำดับ
- พระราชบัญญัติคุ้มครองสุขภาพของผู้ไม่สูบบุหรี่ พ.ศ.2535 ซึ่งกำหนดสถานที่ หรือยานพาหนะใดๆ ที่เป็นสถานที่สาธารณะ เป็นเขตปลอดบุหรี่ และได้กำหนดสภาพ ลักษณะ และมาตรฐานของเขตปลอดบุหรี่ เกี่ยวกับการระบายควัน หรืออากาศ และได้มีการออกประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 10 พ.ศ.2545 บังคับให้สถานที่สาธารณะ 19 ประเภท ขณะทำการและให้บริการ เป็นเขตปลอดบุหรี่ 100% ซึ่งมีผลบังคับใช้แล้ว ตั้งแต่วันที่ 8 พฤศจิกายน พ.ศ.2545

แต่ในปัจจุบันมีโรงพยาบาลจำนวนหนึ่ง ได้รับการออกแบบเหมือนอาคารทั่วไปโดยมิได้มีการคำนึงถึงความปลอดภัยของคุณภาพอากาศ ดังนั้นเพื่อให้เกิดความปลอดภัยของคุณภาพอากาศจึงต้องมีการออกแบบอาคารและสถานที่ให้ได้มาตรฐานตามหลักดังนี้

1.การออกแบบเพื่อป้องกันเชื้อโรคเข้า (ความดันบวก) หรือป้องกันเชื้อโรคออกจากห้อง (ความดันลบ)



ภาพที่ 2.27 แสดงการออกแบบระบบระบายอากาศเพื่อป้องกันเชื้อโรคเข้าห้อง(ความดันบวก)

2. การกำจัดเชื้อโรคออกจากอากาศโดยหลักมาตรฐานการกรองเชื้อโรค

ในอากาศมีแหล่งกำเนิดทั้งจากภายนอกและภายในห้อง โดยปริมาณเชื้อภายในห้องมีสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนคนที่เคลื่อนไหวทำงานในห้อง [CDC, 1999Guideline for Prevention of Surgical Site Infection] การกำจัดเชื้อจากภายนอกทำได้โดยให้อากาศที่เติมเข้ามาในระบบผ่านการกรองก่อนที่จะจ่ายเข้าสู่

ห้อง สำหรับการกำจัดเชื้อที่เกิดภายในห้องออกจากอากาศ สามารถทำได้โดยการหมุนเวียนลมปริมาณมากๆ ภายในห้องไปผ่านแผงกรองอากาศประสิทธิภาพสูง

ตารางที่ 2.18 แสดงประสิทธิภาพของแผ่นกรองอากาศ (ที่มา: ASHRAE Application Handbook 1999.Health Care Facilities,1999 American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning Engineers Inc., Atlanta.)

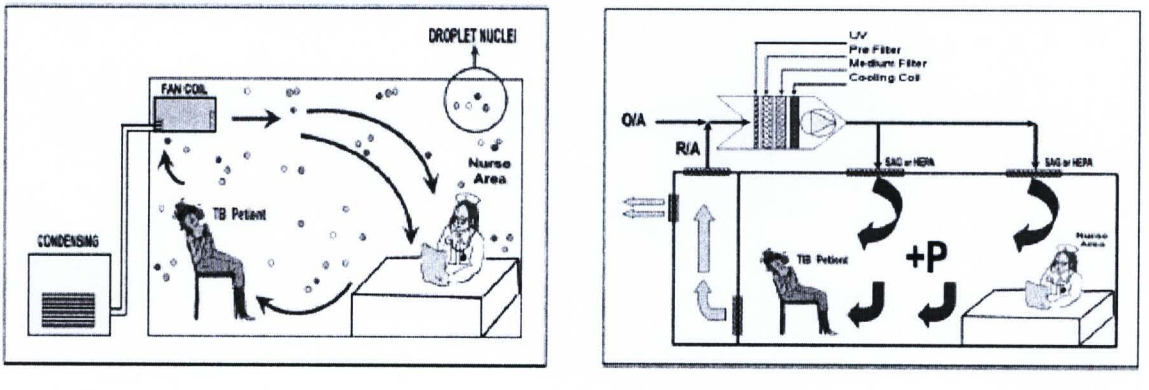
Minimum Number of Filter Beds	Area Designation	Filter efficiency, %		
		No. 1[a]	No. 2[a]	No. 3[b]
3	Orthopedic operating room, Bone marrow transplant operating room, Organ transplant operating room	25%	90%	99.97%[c]
2	General procedure Operating rooms Delivery rooms Nurseries Intensive care units Patient care rooms Treatment rooms Diagnostic and related area	25%	90%	
1	Laboratories Sterile storage	80%		
1	Food preperation areas Laundries Administrative areas Bulk storage Soiled holding areas	25%		

Note :
a : Based on ASHRAE Standard 52.1
b : Based on DOP test
c : HEPA Filter at air outlets

3. การเจือจางเชื้อในอากาศโดยการเติมอากาศจากภายนอก (Outdoor Air, OA)

การนำอากาศภายนอกเข้ามาผสมกับอากาศภายในห้อง จะทำให้ความเข้มข้นของเชื้อลดลง และอากาศจากภายนอกควรผ่านการกรองด้วยแผงกรองอากาศเช่นเดียวกับลมหมุนเวียนภายในห้อง ค่าอัตราการเติมอากาศจากภายนอก และอัตราการหมุนเวียนอากาศทั้งหมดสำหรับห้องต่างๆ ในโรงพยาบาล ดูได้จากตาราง 2.15

4. ควบคุมทิศทางการไหลของอากาศจากที่สะอาดไปหาจุดที่สะอาดน้อย



ภาพที่ 2.28 แสดงการออกแบบการควบคุมทิศทางการไหลของอากาศจากที่สะอาดไปหาจุดที่สะอาด

5. ป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อโรคภายในห้อง

6. การฆ่าเชื้อโรคในอากาศ

การใช้แสงอัลตราไวโอเลตฆ่าเชื้อ (UVGI -Ultraviolet Germicidal Irradiation) เป็นวิธีการที่ได้รับการศึกษาและใช้กันมานาน รังสี UV เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีช่วงคลื่น 100-400nm, สำหรับหลอดรังสี UV ที่มีผลิตขายเพื่อใช้ในการฆ่าเชื้อ จะมีความยาวคลื่น 254 nm ซึ่งเป็น UV-C UVGI สามารถนำมาใช้ได้ 2 ลักษณะ คือ การติดตั้งในเครื่องควบคุมอากาศปลอดเชื้อ และการติดตั้งอยู่ส่วนบนของห้อง (Upper Room) การติดตั้งหลอดรังสี UV การติดตั้งในเครื่องควบคุมอากาศปลอดเชื้อ จะฆ่าเชื้อในอากาศที่ผ่านฟิลเตอร์ก่อนที่จะผ่านหลอดรังสี UV จ่ายเข้ามาในห้อง หากติดตั้งอย่างถูกต้องแล้ว อันตรายจากแสง UV ในเครื่องควบคุมอากาศปลอดเชื้อ จะมีเฉพาะในช่วงการเปิดเข้าไปบำรุงรักษา ดังนั้นจึงต้องมีคำเตือนติดประกาศไว้บริเวณใกล้เคียง ให้ปิดหลอด UV ก่อนที่จะเข้าไปบำรุงรักษาการติดตั้งหลอด

UV แบบอยู่ส่วนบนของห้อง จะใช้หลอด UV ติดตั้งอยู่ที่เพดาน หรือผนังห้อง โดยมีการกันไม่ให้แสง UV ส่องลงมาด้านล่าง วิธีการนี้จะมีประสิทธิผลเมื่ออากาศภายในห้องมีการหมุนเวียนทั่วห้อง จากการศึกษาของ Riley และ Kaufman 1972 พบว่า เมื่ออากาศมีความชื้นสัมพัทธ์เกิน 70% และมีฝุ่นละออง การใช้ UVGI จะได้ผลน้อยลงอย่างมาก และสอดคล้องกับผลการใช้ UVGI ในประเทศแถบร้อนชื้นทั่วโลก อย่างไรก็ตามแม้ UVGI สามารถใช้ฆ่าเชื้อได้ แต่ควรใช้เป็นมาตรการเสริมกับมาตรการอื่นๆเท่านั้น ไม่ควรใช้ทดแทนแผงกรองอากาศ HEPA [CDC, 1994,Guidelines for Preventing the Transmission of Mycobacterium tuberculosis in Health-CareFacilities] (สำหรับการติดตั้ง UVC Lamp เป็นเพียงมาตรการเสริมของระบบเท่านั้น)

ในงานวิจัยชิ้นนี้จะเน้นในเรื่อง การเจือจางเชื้อในอากาศโดยการเติมอากาศจากภายนอก (Outdoor Air, OA) ในสภาวะไร้ระบบปรับอากาศ (การระบายอากาศด้วยวิธีทางธรรมชาติ) เพื่อให้ได้คุณภาพอากาศที่ดีมีสิ่งปนเปื้อนน้อยที่สุด โดยมีหลักการพื้นฐาน ดังนี้

1. การออกแบบช่องเปิดต่างๆ ที่ผนังอาคาร เพื่อให้ลมมีการเคลื่อนที่เข้าและออกในพื้นที่ ควรให้ช่องลมเข้าและลมออกอยู่ในลักษณะแบบพัดผ่านตลอด (Cross ventilation) โดยมี

- ขนาดช่องเปิดลมเข้าเท่าช่องเปิดลมออกลมออก เพราะให้ปริมาณการหมุนเวียนอากาศ (ACH) ดีที่สุดเหมาะสำหรับการทำความเย็นให้กับอาคาร

- ขนาดช่องเปิดลมเข้าเล็กกว่าช่องเปิดลมออก เพราะให้ปริมาณความเร็วลมภายในมากที่สุด เหมาะสำหรับการทำความเย็นให้กับผู้ใช้อาคาร

2. การกระจายลมเข้าสู่ภายในอย่างมีประสิทธิภาพ วิธีการที่จะทำให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือการทำช่องหน้าต่างให้อยู่เยื้องทะแยงมุมตรงข้ามกัน ซึ่งจะทำให้ลมไหลผ่านได้ทั่วถึงมากกว่าการเปิดช่องหน้าต่างตรงข้ามกันตรงๆ และจะต้องไม่มีสิ่งกีดขวางทางลมภายในห้อง เช่น เฟอร์นิเจอร์และฉากกั้นห้อง

3. ทิศทางการไหลของอากาศ ต้องมีทิศทางการไหลจากเจ้าหน้าที่ หรือที่ที่มีอากาศสะอาดไปยังตำแหน่งที่มีอากาศปนเปื้อนหรือผู้ป่วย

4. การทำผังพื้นเปิดโล่ง ช่วยให้เกิดการไหลเวียนของอากาศได้ทั่วทั้งบริเวณ ยกเว้นบริเวณผู้ป่วยติดโรค ที่ต้องมีการควบคุมการไหลเวียนของอากาศ เพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของเชื้อโรค

5. ตรวจสอบทิศทางที่ลมพัดมาเป็นประจำในแต่ละฤดูกาล ทั้งนี้เพราะอาคารข้างเคียงตลอดจนพืชพันธุ์ที่ปลูกอยู่ในบริเวณนั้นจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้กระแสลมเบี่ยงเบนได้ ซึ่งแผงดักลมเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการเปลี่ยนทิศทางการไหลของอากาศ ให้สามารถเปลี่ยนทิศทางลมให้เข้าภายในอาคารได้ ในกรณีช่องเปิดลมเข้ามีขนาดเล็ก หรือในกรณีอื่นๆ

6. พฤกติกรรมการใช้งานของผู้ใช้ จะต้องมีการเปิดใช้งานจริงเพื่อให้ลมสามารถไหลเวียนได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

นอกจากเกณฑ์มาตรฐานและกฎหมายดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ยังมีข้อเสนอแนะที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศในโรงพยาบาลในบริเวณพื้นที่อื่นๆ (ตามมาตรฐาน Center for Disease Control and Prevention ; CDC) ดังนี้

1. การออกแบบห้องผ่าตัด ควรคำนึงถึงรายละเอียดดังนี้

1.1 ควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 20–27°C

1.2 ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ให้อยู่ในช่วง 45–55%RH

1.3 ความดันภายในห้องเป็นบวกเมื่อเทียบกับห้องรอบๆ โดยการจ่ายลมเข้ามากกว่าลมออก 15% และนำอากาศเข้าไม่น้อยกว่า 5 ACH

1.4 ควรติดตั้งเครื่องวัดความดันแตกต่างภายในห้องเพื่อตรวจสอบได้ตลอดเวลา อย่างไรก็ตาม การอุดรอยรั่วของผนัง , เพดาน , ช่องเจาะที่พื้น ตลอดจนกรอบประตู มีผลอย่างมากต่อการสร้างความดัน

1.5 ควรติดตั้งเครื่องอ่านอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ให้สามารถอ่านได้สะดวก

1.6 การติดตั้งควรเป็นไปตามมาตรฐาน NFPA 99 , Health Care Facilities

1.7 ควรจ่ายลมทั้งหมดจากเพดาน ดูดลมกลับที่ใกล้ระดับพื้น โดยมีหน้าการรับลมกลับอย่างน้อย 2 จุด ติดตั้งให้ขอบล่างอยู่สูงกว่าพื้นอย่างน้อย 75 มม. อัตราการจ่ายลม (Total Air Change) ไม่ควรน้อยกว่า 25 ACH หัวจ่ายลมควรเป็นแบบจ่ายลมทิศทางเดียว (Unidirectional) เช่น หน้ากากแบบ Perforated เป็นต้น ควรหลีกเลี่ยงหัวจ่ายที่มีการเหนี่ยวนำลมสูง เช่น หัวจ่ายลมติดเพดานแบบสี่ทางที่ใช้ในงานระบบปรับอากาศทั่วไป หรือ หน้ากากจ่ายลมแบบติดผนัง

1.8 พื้นควรเลือกวัสดุที่พื้นผิวไม่สะท้อนแสงและ Anti-Static

1.9 ผนังควรเลือกวัสดุที่พื้นผิวไม่สะท้อนแสงและ Anti-Static มีโครงสร้างแข็งแรง ควรเป็นฉนวนเพราะจะช่วยในการประหยัดพลังงาน ควรออกแบบให้ไม่เป็นที่สะสมฝุ่นละออง มีรอยต่อผนังให้น้อยที่สุด มีอุปกรณ์ลบเหลี่ยมและมุมห้อง

1.10 ฝ้าเพดานต้องแข็งแรงและทนต่อแรงดันอากาศได้ดี วัสดุที่พื้นผิวไม่สะท้อนแสงและ Anti-Static วัสดุควรเป็นฉนวน ทนความชื้นและความร้อน สะดวกต่อการขึ้นไปซ่อมบำรุง

1.11 ประตูโครงสร้างต้องแข็งแรงทนต่อแรงดันอากาศ และต้องซีลอากาศได้เป็นอย่างดี (Air Tight Door) บานประตูออกแบบให้เปิดเข้าและเปิดทางเดียว

2. การออกแบบห้องตรวจผู้ป่วยนอก

ห้องตรวจผู้ป่วยนอก (OPD) ตามมาตรฐานแล้วต้องมีการแบ่งออกเป็นกลุ่มคือ กลุ่มเสี่ยง และกลุ่มของการตรวจทั่วไป โดยมีหลักการตามรายละเอียดดังนี้

2.1 ห้องตรวจโรคทั่วไป ควรคำนึงถึง

2.1.1 ทิศทางการไหลของอากาศ ต้องมีทิศทางการไหลจากเจ้าหน้าที่ หรือที่ที่มีอากาศสะอาดไปยังตำแหน่งที่มีอากาศปนเปื้อนหรือผู้ป่วย

2.1.2 ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ให้อยู่ในช่วง 50+/-10%RH

2.1.3 การควบคุมความดันห้องตรวจให้เป็นบวก พื้นที่เข้าออกให้มีความดันเป็นบวก ส่วนพื้นที่ซึ่งผู้ป่วยต้องนั่งรอให้มีความดันเป็นลบ

2.1.4 ปริมาณการหมุนเวียนของอากาศมีการเติม Fresh Air 2 ACH มีการหมุนเวียนมากกว่า 12 ACH

2.1.5 ให้มีประสิทธิภาพการกรองอากาศตามมาตรฐานโดยขั้นที่ 1 มีประสิทธิภาพการกรอง 25% และประสิทธิภาพการกรองขั้นที่ 2 ที่ 90%

2.1.6 ทิศทางการไหลของอากาศเป็นแบบ NON–LAMINAR AIR FLOW 2.10

2.2 ห้องตรวจโรคกลุ่มที่มีความเสี่ยง ควรออกแบบให้เป็น FRESH AIR 100% โดยมีหลักดังนี้

2.2.1 ปริมาณของอากาศเข้า-ออกมากกว่า 15 ACH ให้เป็น FRESH AIR 100 %ไม่มีการหมุนเวียนอากาศ

2.2.2 อากาศที่นำเข้าห้องต้องถูกกรองฝุ่น และสิ่งปนเปื้อนก่อน โดยกรองอากาศชั้นแรก 25% กรองอากาศชั้นที่ 2 90–95%

2.2.3 การควบคุมความดันห้องตรวจให้เป็นลบ พื้นที่เข้าออกให้มีความดันเป็นบวก ส่วนพื้นที่ซึ่งผู้ป่วยต้องนั่งรอให้มีความดันเป็นลบ

2.2.4 อากาศที่นำออกจากห้องทั้งหมดควรมีการกรองชั้นแรก 25% กรองอากาศชั้นที่ 2 95% และมีการกรองด้วย HEPA FILTER หรือเสริม UV เข้าไปเป็นมาตรการเสริมในชุดการกรองอากาศ ทั้งนี้ตัวถัง (CASING) ควรเป็นผนังสองชั้นเพื่อป้องกันอากาศรั่วไหล หรือแพร่กระจายออกสู่ภายนอก

2.2.5 ต้องมีการป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อโรค และมีการควบคุมคุณภาพอากาศให้เหมาะสม ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมควรต้องมีการควบคุมให้อยู่ที่ 24+/-1°C และ ความชื้น 50+/-10%RH

2.2.6 ควบคุมทิศทางการไหลของอากาศจากบนสู่ล่างแบบ NON–LAMINAR AIR FLOW

3. การออกแบบห้อง ICU ควรคำนึงถึงรายละเอียดดังนี้

3.1 ควรมีการแยกห้องผู้ป่วยที่มีการแพร่กระจายของเชื้อโรคให้อยู่ในโซนของห้อง ICU ที่มีการควบคุมห้องผู้ป่วยให้มีความดันเป็นลบพร้อมออกแบบให้มีห้อง Anti-Room มีความดันเป็นลบน้อยกว่าห้องผู้ป่วยพร้อมระบบควบคุมการแพร่กระจายของเชื้อโรค

3.2 บริเวณผู้ป่วยทั่วไปของห้อง ICU อยู่ในส่วนของห้องที่มีการออกแบบให้มีความดันเป็นบวก โดยทั้งสองส่วนต้องมีการควบคุมคุณภาพอากาศให้มีความปลอดภัย

3.3 บริเวณพื้นที่เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานต้องออกแบบให้ความดันเป็นบวกสูงกว่าบริเวณอื่นๆ

3.4 ทิศทางการไหลของอากาศ ต้องมีทิศทางการไหลจากฝ้าเพดานสู่แนวพื้นแบบ Non-Laminar Air Flow หรือที่ที่มีอากาศสะอาดไปยังตำแหน่งที่มีอากาศปนเปื้อนหรือผู้ป่วย

3.5 ออกแบบให้มีการควบคุมยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรคโดยการควบคุมอุณหภูมิ 24+/-1°C และความชื้น 50+/-10%RH

3.6 ปริมาณการหมุนเวียนของอากาศมีการเติม Fresh Air 2 ACH มีการหมุนเวียนมากกว่า 6 ACH

3.7 ให้มีประสิทธิภาพการกรองอากาศตามมาตรฐานโดยขั้นที่ 1 มีประสิทธิภาพการกรอง 25% และมีประสิทธิภาพการกรองขั้นที่ 2 ที่ 90% ถ้าเป็นกรณีห้องแยกผู้ป่วยติดเชื้อต้องมีกรองขั้นที่ 3 ด้วย HEPA Filter

4. การออกแบบห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อ

ห้องแยกสำหรับผู้ป่วยที่เป็นโรคติดต่อที่สามารถแพร่เชื้อโรคได้ ควรออกแบบให้สามารถควบคุมไม่ให้เชื้อแพร่กระจายออกจากห้องได้ ข้อควรคำนึงถึงการออกแบบต้องออกแบบให้ประหยัดพลังงาน และประหยัดต่อการซ่อมบำรุง

4.1 การออกแบบต้องให้ความดันภายในห้องเป็นลบตลอดเวลา

4.2 เพื่อป้องกันการติดเชื้อทางอากาศ และเพื่อความปลอดภัยในการปฏิบัติงานห้องผู้ป่วยตามหลักมาตรฐาน ต้องออกแบบเป็น FRESH AIR 100 % และมีความดันภายในห้องเป็นลบ

4.3 ขณะผู้ป่วยอยู่ภายในห้องตามลำพัง ให้มีระบบการหมุนเวียนของอากาศไม่น้อยกว่า 12 ACH

4.4 ขณะเจ้าหน้าที่เข้าไปปฏิบัติงาน ให้สามารถปรับเปลี่ยนระบบเป็น FRESH AIR 100 %

4.5 อากาศที่นำออกจากห้องทั้งหมดควรมีการกรองชั้นแรก 25% กรองอากาศชั้นที่ 2 95% และมีการกรองด้วย HEPA FILTER หรือเสริม UV เข้าไปเป็นมาตรการเสริมในชุดการกรองอากาศ ทั้งนี้ตัวถัง (CASING) ควรเป็นผนังสองชั้นเพื่อป้องกันอากาศรั่วไหลหรือแพร่กระจายออกสู่ภายนอก

4.6 การจ่ายลมควรจ่ายลมทิศทางตรงที่บริเวณปลายเตียงผู้ป่วยและดูดออกด้านข้างหัวเตียงผู้ป่วยหรือมุมห้องผู้ป่วยที่ระดับใกล้พื้น เพื่อให้อากาศสะอาดผ่านจากเจ้าหน้าที่หรือญาติไปสู่ผู้ป่วยและถูกดูดออกจากห้องไปดังนั้น ห้องแยกติดเชื้อควรมีการตรวจสอบความดันหรือทิศทางการไหลของลม (ต้องไหลเข้าห้อง) อย่างสม่ำเสมอ หรือติดตั้งอุปกรณ์วัดความดันเพื่อตรวจสอบและส่งสัญญาณเตือนหากความดันหรือทิศทางการไหลของลมไม่ถูกต้อง

4.7 ผนังและฝ้าควรใช้แบบผนังสำเร็จรูปแผ่นเรียบ เนื่องจากสามารถทำความสะอาดได้ง่าย อีกทั้งยังไม่เป็นที่สะสมเชื้อโรคและฝุ่นละออง รวมทั้งยังสามารถป้องกันไม่ให้อากาศไหลซึมผ่านออกไปด้านนอกโดยไม่มีการควบคุม การออกแบบผนังควรใช้แบบผนังสำเร็จรูปแผ่นเรียบซึ่งสามารถทำความสะอาดได้ง่ายไม่สะสมฝุ่น ฝ้าควรเป็นแผ่นสำเร็จรูปหรือ SUPER T-BAR ที่มีการยึดที่แข็งแรง เนื่องจากห้องมีความดันตลอดเวลา อากาศต้องไม่ซึมออกไปด้านนอกโดยไม่มีการควบคุม อีกทั้งต้องมีการทำ PAO TEST HEPA FILTER และทดสอบฟังชั่นการทำงานต่างๆเป็นไปตามมาตรฐานปลอดเชื้อเพื่อความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน ทั้งนี้เพื่อป้องกันการติดเชื้อทางอากาศ และเพื่อความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน ห้องผู้ป่วยควรออกแบบเป็น FRESH AIR 100 % และมีความดันภายในห้องเป็นลบ แต่เนื่องจากการวางระบบดังกล่าวจะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและด้านฟิลเตอร์ จึงอาจออกแบบระบบ POLY ULPHA OLITFIN (PAO TEST) ห้องแยกออกเป็น 2ลักษณะ คือ

4.7.1 ขณะผู้ป่วยอยู่ภายในห้องตามลำพัง ให้มีระบบการหมุนเวียนของอากาศไม่น้อยกว่า 12 ACH

4.7.2 ขณะเจ้าหน้าที่เข้าไปปฏิบัติงานให้สามารถปรับเปลี่ยนระบบเป็น FRESH AIR 100 % โดยสามารถที่จะเลือกให้เป็นระบบอากาศธรรมดา หรือควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยก็ได้ ขึ้นอยู่กับงบประมาณในการวางระบบของผู้ใช้ ซึ่งถ้าเป็นแบบที่ 2 จะช่วยลดการสิ้นเปลืองพลังงานในการใช้งาน และค่าใช้จ่ายในการดูแลเปลี่ยน FILTER ได้มาก

กรณีที่เป็นห้องไม่ปรับอากาศ

หากเป็นห้องที่ไม่มีการปรับอากาศ การเปิดหน้าต่างต้องระมัดระวัง ไม่เปิดทางด้านเหนือลมโดยเด็ดขาด (ลมพัดเข้าห้อง) การปิดประตูห้องไม่สามารถป้องกันการแพร่กระจายเชื้อได้ หากมีลมพัดอัดเข้ามาในห้อง (เนื่องอาจจะมีรอยรั่วรอบๆกรอบประตู ช่องท่อแนวดิ่ง ช่องเจาะที่ผนัง) ในกรณีนี้ส่วนเยกผู้ป่วยควรจะอยู่สุดปลายทางเดิน ในบริเวณที่มีการใช้งานไม่พลุกพล่าน