บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเรียนการสอนเรื่องการทดสอบการไหลของอากาศ

การศึกษาเรื่องการไหลของอากาศถือเป็นหัวข้อหนึ่งที่สำคัญในการเรียนการสอนสาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ในปัจจุบัน ซึ่งการเรียนการสอนหัวข้อนี้ในแต่ละสถาบันนั้นจะมีรายระเอียดของเนื้อหาแตกต่างกัน โดยทั่วไปแล้วการศึกษาเรื่องการไหลของอากาศมักจะถูกบรรจุในหมวดวิชาที่เกี่ยวกับการออกแบบอาคารกับการอนุรักษ์พลังงาน ประกอบด้วยการสอนภาคทฤษฎีซึ่งเป็นการบรรยายในห้องเรียน และ มีการสอนเพิ่มเติมในภาคปฏิบัติ ซึ่งส่วนหลังนี้มักจะสอนให้ปฏิบัติในห้องปฏิบัติการ (Laboratory)

ในการเรียนการสอนในภาคการปฏิบัตินั้น ส่วนใหญ่จะเป็นลักษณะการวัดการไหลของอากาศหรือการทดลองทดสอบ และสังเกตรูปแบบการไหลในลักษณะต่างๆ การทดสอบการไหลผ่านสิ่งกีดขวางรูปแบบต่างๆ ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาเรื่องกระแสลม และการไหลของอากาศที่สำคัญพอจะแบ่งออกได้ดังนี้ คือ

1. เครื่องมือสำหรับวัดความเร็วลม (Anemometer) เครื่องมือชนิดนี้เป็นเครื่องมือที่วัดความเร็วการไหลของอากาศ จะมีอุปกรณ์บางส่วนที่คล้ายคลึงกับเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาเรื่องอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และ ความรู้สึกร้อนหนาวที่เหมาะสม แบ่งเป็นส่วนแสดงผล และส่วนแสดงข้อมูล แต่สิ่งที่เป็นลักษณะเฉพาะของเครื่องมือชนิดนี้ คือ หัวรับสัญญาณที่มีขนาดที่มีรูปแบบแตกต่างกันหลายรูปแบบ สามารถปรับเปลี่ยนการใช้งานได้ตามความเหมาะสม เช่น หัวรับสัญญาณขนาดเล็กที่เหมาะสำหรับการใช้งานในพื้นที่ที่มีขนาดเล็ก ความเร็วต่ำ ปริมาณลมน้อย หรือวัดความเร็วลมเฉพาะตำแหน่งที่ต้องการ เช่น บริเวณช่องจ่ายลมเย็นของระบบปรับอากาศ ช่องระบายอากาศใต้หลังคา ส่วนหัวรับสัญญาณขนาดใหญ่ที่เหมาะสำหรับวัดในพื้นที่ที่มีความเร็ว และมีปริมาณลมมาก หรือ ความเร็วลมเฉลี่ยในแต่ละพื้นที่ เช่น ความเร็วลมเฉลี่ยในห้อง หรือ สภาพแวดล้อมกลางแจ้ง ฯลฯ
2. โต๊ะจำลองการไหล (Fluid Mapping Table) หรือ ที่มักเรียกกันว่า"โต๊ะน้ำ" เป็นเครื่องมือที่สามารถสร้างความเข้าใจในการศึกษาเรื่องกระแสลม และการระบายอากาศได้เป็นอย่างดี โดยอาศัยคุณสมบัติของน้ำเป็นตัวแทนในการศึกษาการไหลเวียนของอากาศ น้ำที่นำมาใช้นั้นจะเป็นน้ำที่มีการผสมสี (โดยทั่วไปมักจะใช้น้ำที่ผสมกับด่างทับทิม) เพื่อให้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เห็นภาพจำลองของการไหลได้ง่ายขึ้น สามารถที่จะศึกษาได้ในหลายรูปแบบ เช่น การจัดวางกลุ่มอาคาร การไหลเวียนของอากาศในส่วนต่างๆของอาคาร โดยใช้เครื่องจำลองการไหลของของไหล (Flow Visualization Apparatus) การศึกษาการไหลเวียนของอากาศด้วยโต๊ะน้ำ จะเป็นการศึกษาในลักษณะ 2 มิติ ซึ่งในบางกรณีอาจไม่สามารถทำให้มองเห็นภาพรวมของผลกระทบที่เกิดขึ้นกับตัวอาคาร และ สภาพแวดล้อมข้างเคียงได้ทั้งหมด

3. ในกรณีที่ต้องการศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับตัวอาคาร และสภาพแวดล้อม จะต้องศึกษาจากการไหลเวียนของอากาศที่เกิดขึ้นในอุโมงค์ลม (Wind Tunnel) โดยการทดลองกับหุ่นจำลองที่ตั้งอยู่ในสภาพแวดล้อมนั้นๆ โดยใช้ลมหรือควันที่มีการผสมสีเข้าไปเพื่อให้สามารถมองเห็นภาพการไหลเวียนของอากาศได้ชัดเจน ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีสถานที่ทดลองด้วยอุโมงค์ลมในประเทศไทย ที่สามารถเห็นภาพการไหลเวียนอากาศได้อย่างชัดเจน เพื่อบันทึกภาพ และ สามารถนำไปวิเคราะห์ต่อได้ เพราะค่าใช้จ่ายในทดสอบ และการบำรุงรักษายังอยู่ในระดับที่ค่อนข้างสูง มีเพียงการทดลองที่ใช้หุ่นจำลองตั้งในอุโมงค์ลม โดยใช้พัดลมที่ตั้งค่าความเร็วเริ่มต้นตามที่ต้องการ ปล่อยเข้าไปในอุโมงค์ลม เพื่อวัดหาค่าความเร็วของกระแสลม ณ จุดต่างๆ ที่กำหนดในหุ่นจำลองตามที่ต้องการได้ แต่ก็มีข้อเสียที่มีข้อจำกัดสำหรับขนาดของหุ่น และการรั่วซึมทำให้ค่าที่วัดคลาดเคลื่อนได้ ทั้งยังใช้เวลาในการทำหุ่นจำลอง และการทดลองมาก
4. ในการศึกษาเรื่องการไหลเวียนของอากาศที่ใช้หลักการทำงานเช่นเดียวกันนี้ ก็สามารถใช้โปรแกรมการคำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics, CFD) ได้อีกแนวทางหนึ่ง แต่แนวทางนี้ ผู้ใช้โปรแกรมต้องมีความชำนาญ และต้องใช้เวลาในการศึกษาค่อนข้างมาก และยังมีข้อจำกัดในการใช้งานอยู่

จากลักษณะการทดสอบการไหลของอากาศที่กล่าวมานั้น การเรียนการสอนในหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตร์ในประเทศไทย ส่วนใหญ่ใช้การทดสอบโดยการใช้โต๊ะน้ำ เนื่องจากนักศึกษาสามารถทำได้ง่ายไม่ต้องมีความรู้พิเศษด้านอื่นเพิ่มเติม เพียงเข้าใจระเบียบวิธีการทดลองของโต๊ะน้ำก็สามารถดำเนินการทดสอบได้ทันที แตกต่างจากการใช้โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ ที่ยังเป็นเครื่องมือที่ค่อนข้างใหม่ในประเทศไทย มีอาจารย์ผู้สอนในคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์น้อยคนที่รู้จัก และสามารถใช้งานได้ดี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2 การใช้โต๊ะน้ำเพื่อทดสอบกระแสลมในวิชา 80325 Basic Building and Energy System ของคณะ สถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เครื่องจำลองการไหลของของไหล (Flow Visualization Apparatus) หรือ ที่เรียกกันว่า “โต๊ะน้ำ” เป็นเครื่องมือที่สามารถแสดงทิศทางการไหลของน้ำโดยอาศัยสีของด่างทับทิมที่ละลายในน้ำ โดยสมมติว่าการไหลของน้ำเป็นเช่นเดียวกับการไหลของอากาศ บันทึกผลการทดลองโดยการสังเกตและถ่ายภาพ ซึ่งอาจเป็นภาพนิ่งหรือภาพเคลื่อนไหว การใช้โต๊ะน้ำในกระบวนวิชา Basic Building and Energy System ตามหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มีจุดประสงค์เพื่อให้นักศึกษารู้จักเครื่องมือและวิธีการทดสอบกระแสลมที่จะเกิดขึ้นในอาคารที่ตนออกแบบ (ยุทธนา ทองท้วม, 2549) กิจกรรมที่ทำในการเรียนการสอน มีการแนะนำและสาธิตการใช้โต๊ะน้ำอย่างง่าย ๆ โดยมีการอธิบายทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับเรื่องการไหลของอากาศเล็กน้อย หลังจากนั้นเป็นการมอบหมายงานให้นักศึกษาทำคือ ให้นักศึกษาแต่ละคนออกแบบห้องที่มีช่องเปิดแล้วทำหุ่นจำลองภาพตัดในสองมิติเพื่อนำมาทดสอบกับโต๊ะน้ำ นักศึกษาจะสังเกตและบันทึกภาพการไหลของน้ำที่มีสีของด่างทับทิม ซึ่งแทนกระแสลมที่พัดเข้าไปในอาคาร จากการสังเกตการใช้โต๊ะน้ำในห้องปฏิบัติการเบื้องต้นนั้นพบว่า มีข้อดี คือ ใช้การได้ง่ายโดยไม่ต้องอาศัยคู่มือการใช้งานใด ๆ และในการทดสอบ จะสามารถสังเกตลักษณะการเคลื่อนที่ของกระแสน้ำตั้งแต่เริ่มปล่อยน้ำผสมสีเข้าในหุ่นจำลอง แต่มีข้อเสียคือ ไม่สามารถวัดความเร็วของกระแสน้ำได้ นอกจากนั้นยังพบกับการชำรุดบ่อยๆของอุปกรณ์ และที่สำคัญคือจำนวนนักศึกษาที่เพิ่มมากขึ้นในขณะที่มีโต๊ะน้ำเพียงโต๊ะเดียว ไม่เพียงพอต่อการทดสอบ (ยุทธนา ทองท้วม และ รัตน์ ตัณฑจำรูญ, 2549)

สิ่งสำคัญที่นักศึกษาหรือสถาปนิกต้องการรับรู้เกี่ยวกับปัญหาการไหลที่สัมพันธ์กับอาคาร ได้แก่

ก. ลักษณะ ตำแหน่งของช่องเปิดที่จะมีผลต่อการไหลผ่านของกระแสลม
ข. ลักษณะการไหลของกระแสลมที่ผ่านภายใน ภายนอกอาคาร จุดรับลม จุดอับลม ที่สัมพันธ์กับตำแหน่งช่องเปิด
ค. ความเร็วของการไหลกระแสลมที่จะช่วยในการระบายอากาศ เพื่อให้เกิดสภาวะน่าสบายภายในอาคาร

โต๊ะน้ำที่ใช้อยู่นั้นสามารถแสดงสิ่งต่าง ๆ ในข้อ ก. และ ข. ได้ แต่จะมีความยุ่งยากเมื่อต้องการศึกษาการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของช่องเปิดต่าง ๆ เนื่องจากต้องรื้อโมเดลแล้วทำใหม่ นอกจากนั้นไม่สามารถแสดงความเร็วของกระแสลมตามที่ระบุในข้อ ค. ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 ทฤษฎีการไหลของอากาศ

การศึกษาทฤษฎีการไหลของอากาศมีความสำคัญ เนื่องจากเป็นการทำให้ทราบถึงพื้นฐานเกี่ยวกับสาเหตุและแนวโน้มของการเคลื่อนที่ของอากาศที่ถูกต้อง นอกจากนั้น ยังเป็นการทบทวนความใกล้เคียงหรือแม่นยำในการใช้โต๊ะน้ำอีกด้วย

2.3.1 สาเหตุของการเกิดการไหลของอากาศ ที่ศึกษาจากหนังสือเทอร์โมฟลูอิด (Thermofluid) เขียนโดย ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์ (2548) มีเนื้อความสรุปได้ว่า อากาศเป็นของไหล (Fluid) ชนิดหนึ่งที่อยู่ในสถานะของก๊าซ อากาศจะไหลจากจุดที่มีความดันของอากาศสูงกว่าไปยังจุดที่มีความดันต่ำกว่าเสมอ ซึ่งความดันของอากาศจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงนั้นมีหลายสาเหตุ เช่น

ก. <u>การเปลี่ยนแปลงปริมาตร</u>

Robert Boyles ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับอากาศและสรุปเป็นกฎไว้ตั้งแต่คริสตศตวรรษที่ 17 ว่า “ขณะที่ก๊าซจำนวนหนึ่งมีการเปลี่ยนแปลงสภาพ ถ้าอุณหภูมิของก๊าซนั้นคงที่ ปริมาตรของก๊าซจะแปรผกผันกับความดันสัมบูรณ์” ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$p_1V_1 = p_2V_2 \tag{2.1}$$

โดยที่ P_1 คือความดันของก๊าซก่อนการเปลี่ยนแปลงสภาพ

P_2 คือความดันของก๊าซหลังการเปลี่ยนแปลงสภาพ

V_1 คือปริมาตรของก๊าซก่อนการเปลี่ยนแปลงสภาพ

V_2 คือปริมาตรของก๊าซหลังการเปลี่ยนแปลงสภาพ

ตัวอย่างของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรกับความดันในกรณีนี้ก็คือ เครื่องสูบลม ซึ่งใช้การลดปริมาตรในกระบอกสูบ ทำให้เกิดแรงดันขับอากาศออกไปนอกกระบอกสูบ

ข. <u>การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ</u>

หลังจาก Robert Boyles ได้เสนอกฎของก๊าซในอุดมคติขึ้นประมาณ 100 ปี Jacques A. Charles ได้ทำการทดลองและเสนอกฎของก๊าซขึ้นมาอีก 2 ข้อ (ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์, 2548) คือ

กฎข้อที่1 “ขณะที่ก๊าซจำนวนหนึ่งมีการเปลี่ยนแปลงสภาพ ถ้าความดันของก๊าซนั้นคงที่ ปริมาตรของก๊าซจะแปรผกผันกับอุณหภูมิสัมบูรณ์” ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \tag{2.2}$$

โดยที่ V_1 คือปริมาตรของก๊าซก่อนการเปลี่ยนแปลงสภาพ

V_2 คือปริมาตรของก๊าซหลังการเปลี่ยนแปลงสภาพ

T_1 คืออุณหภูมิของก๊าซก่อนการเปลี่ยนแปลงสภาพ

T_2 คืออุณหภูมิของก๊าซหลังการเปลี่ยนแปลงสภาพ

ตัวอย่างของกรณีนี้ก็คือ การทำให้อากาศในลูกบอลลูนร้อนขึ้น ทำให้อากาศซึ่งมีมวลคงที่ขยายตัว ซึ่งหมายความว่าความหนาแน่นของอากาศลดลง ทำให้บอลลูนลอยขึ้นไปในอากาศซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่าได้

กฎข้อที่2 “ขณะที่ก๊าซจำนวนหนึ่งมีการเปลี่ยนแปลงสภาพ ถ้าปริมาตรของก๊าซนั้นคงที่ ความดันของก๊าซจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์” ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \tag{2.3}$$

โดยที่ P_1 คือความดันของก๊าซก่อนการเปลี่ยนแปลงสภาพ

P_2 คือความดันของก๊าซหลังการเปลี่ยนแปลงสภาพ

T_1 คืออุณหภูมิของก๊าซก่อนการเปลี่ยนแปลงสภาพ

T_2 คืออุณหภูมิของก๊าซหลังการเปลี่ยนแปลงสภาพ

ตัวอย่างของกรณีนี้ก็คือ การสูบลมยางรถจักรยาน เมื่อสูบมากขึ้นถึงจุดหนึ่งที่ยางรถเริ่มพองเต็มที่แล้ว การออกแรงสูบจะยากขึ้น และกระบอกสูบจะร้อนขึ้น

เมื่อรวมสมการทั้งสามเข้าด้วยกันแล้วเรียกว่า “สมการของสภาวะก๊าซในอุดมคติ” (Equation of State of an Ideal Gas) คือ

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \tag{2.4}$$

จากกฎของก๊าซดังกล่าวข้างต้น สามารถอธิบายการเกิดลมพัดในลักษณะและกรณีต่าง ๆ กัน ดังตัวอย่างเช่น การที่มักจะเกิดลมพัดจากภูเขาไปยังตัวเมืองที่อยู่เชิงเขาในตอนเย็นและค่ำ เช่นที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เกิดขึ้นกับเมืองเชียงใหม่ มีสาเหตุเกิดจาก การที่สิ่งก่อสร้างในตัวเมืองสะสมความร้อนจากดวงอาทิตย์ไว้ทั้งวันแล้วเริ่มคายความร้อนขึ้นสู่อากาศในตอนเย็น ทำให้อากาศเหนือตัวเมืองร้อนขึ้นและขยายตัวลอยขึ้นสูง ในขณะที่อุณหภูมิของอากาศเหนือป่าไม้บนภูเขาไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ดังนั้น อากาศบนเขาซึ่งหนักกว่า จึงลอยเข้ามาแทนที่อากาศเหนือตัวเมืองที่ร้อนและลอยสูงขึ้นไป กลายเป็นลมพัดจากภูเขาในช่วงเย็น

2.3.2 ทฤษฎีการไหลของของไหล

ในการศึกษาการไหลของของไหลนั้นส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาเพื่อหาปริมาณการไหลและทิศทาง อันเนื่องมาจากปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ที่ใช้ในการศึกษาสามารถแบ่งตามลักษณะการไหลได้หลายแบบคือ

<u>แบบที่หนึ่ง</u> เป็นแบบจำลองที่พิจารณาความสม่ำเสมอของปริมาณการไหล ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นสองแบบ คือ

- การไหลสม่ำเสมอ (Steady Flow) หมายถึงลักษณะการไหลที่ความเร็ว ณ จุดใด ๆ ก็ตามจะไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา แต่ความเร็วในการไหล ณ จุดนั้นอาจแตกต่างจากจุดอื่น ๆ ได้ ตัวอย่างเช่น การไหลของน้ำประปาในท่อที่มีแรงดันมากเพียงพอ
- การไหลไม่สม่ำเสมอ (Unsteady Flow) หมายถึงลักษณะการไหลที่ความเร็ว ณ จุดใด ๆ ก็ตามมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา หรือ อาจขาดช่วงได้ ตัวอย่างเช่น การไหลของน้ำประปาในท่อที่มีแรงดันไม่มากพอ

ทฤษฎีการไหลแบบสม่ำเสมอเป็นทฤษฎีเบื้องต้นที่ใช้ในการคำนวณออกแบบทางวิศวกรรม เนื่องจากมีความซับซ้อนน้อย

<u>แบบที่สอง</u> เป็นแบบจำลองที่พิจารณาตามความราบรื่นของการไหล เป็นการไหลที่ใช้สมมติฐานว่า อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ตามกันเป็นชั้น ๆ โดยที่ชั้นหนึ่ง ๆ เลื่อนไหลไปแบบเรียบ ๆ เหนืออีกชั้นถัดไป ซึ่งสมมติฐานแบบนี้อาศัยกฎของนิวตันที่เกี่ยวกับความหนืดของของไหล รวมทั้งแรงหนืดระหว่างของไหลกับผิวของขอบท่อที่ของไหลนั้นไหลผ่าน ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นสองแบบ คือ

- การไหลแบบราบเรียบ (Lamina Flow) เป็นการไหลที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกันและมีความเร็วที่แน่นอน
- การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) เป็นการไหลที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ในทิศทางและความเร็วที่ไม่แน่นอน ซึ่งการไหลในธรรมชาติเกือบทั้งหมดเป็นการไหลใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลักษณะนี้ ทฤษฎีการไหลแบบนี้มีความซับซ้อนมาก เช่นเดียวกับการไหลแบบไม่สม่ำเสมอ

ลักษณะการไหลแบบราบเรียบหรืออลวนสามารถทราบได้จากดัชนีที่เรียกว่า “เรย์โนลด์นัมเบอร์” (Reynold’s Number) เขียนแทนด้วยสัญญลักษณ์ *Re* ซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างค่าแรงเฉื่อยต่อค่าแรงหนืดของของไหล เป็นค่าที่ไม่มีหน่วย สำหรับการไหลในที่โล่ง *Re* สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$Re = \frac{\rho v L}{\mu} \qquad (2.5)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล

v คือ ความเร็วของของไหลที่ไหลเข้าหาสิ่งกีดขวาง

L คือระยะห่างระหว่างจุดที่พิจารณากับผิวสัมผัสของสิ่งกีดขวาง

μ คือความหนืดของของไหล

เมื่อมีการไหลแบบราบเรียบ $Re < 10^5$

เมื่อการไหลอยู่ในระหว่างการเปลี่ยนแปลงจากแบบราบเรียบเป็นแบบอลวน $10^5 < Re < 2 \times 10^6$

และเมื่อการไหลเป็นแบบอลวน $Re > 2 \times 10^6$

<u>แบบที่สาม</u> เป็นแบบจำลองที่พิจารณาตามทิศทางของการไหลซึ่งเรียกว่าเส้นการไหล (Streamline) ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ

- การไหลทิศทางเดียว (One-Dimensional Flow) มีเส้นการไหลเป็นทิศทางเดียว ตัวอย่างเช่น การไหลในท่อตรง เป็นต้น
- การไหลสองทิศทาง (Two-Dimensional Flow) มีเส้นการไหลเป็นสองทิศทาง ตัวอย่างเช่น การไหลของอากาศผ่านปีกเครื่องบินซึ่งถือว่าปีกเครื่องบินมีความยาวมากจนถือว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงการไหลในทิศทางตามความยาวของปีกเครื่องบิน เป็นต้น
- การไหลสามทิศทาง (Three-Dimensional Flow) มีเส้นการไหลเป็นสามทิศทาง ตัวอย่างเช่น การไหลของอากาศผ่านหรือปะทะวัตถุที่มีความสูงและความกว้างไม่ต่างกันมาก เช่น ลูกปืน จรวด รถ เป็นต้น

มีสมการต่าง ๆ มากมายทั้งที่ไม่ซับซ้อน จนถึงซับซ้อนมาก ที่ใช้ประกอบทฤษฎีการไหลของของไหลตามแบบจำลองดังกล่าวข้างต้น ซึ่งในทางสถาปัตยกรรม สมการที่ควรทราบมีดังต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

<u>สมการของการไหลแบบสม่ำเสมอในทิศทางเดียวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดของเส้นทางการไหล</u>

สมการนี้อาศัยหลักการที่ว่า มวลสารย่อมไม่มีการเพิ่มขึ้นหรือหายไป ซึ่งหมายความว่า ในเส้นทางการไหลที่ต่อเนื่อง ปริมาณการไหลจะคงที่ตลอดเส้นทางนั้น สามารถเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$q = A_1 v_1 = A_2 v_2 \tag{2.6}$$

เมื่อ q คือปริมาณการไหล (ปริมาตร) ต่อหน่วยเวลา

A_1 และ A_2 คือพื้นที่หน้าตัดของเส้นทางการไหลที่จุด 1 และ 2 ตามลำดับ

v_1 และ v_2 คือความเร็วในการไหลที่จุด 1 และ 2 ตามลำดับ

อธิบายได้ว่า เมื่อพื้นที่หน้าตัดของการไหลขยายใหญ่ขึ้น ความเร็วของของไหลจะลดลง แต่ถ้าพื้นที่หน้าตัดของการไหลลดลง ความเร็วของของไหลจะมากขึ้น ซึ่งใช้อธิบายการไหลของน้ำที่ปากแม่น้ำออกสู่ทะเลซึ่งกว้างกว่าจะช้าลง หรือการไหลของอากาศผ่านช่องแคบจะเร็วขึ้น ซึ่งสมการนี้เมื่อใช้กับอากาศ จะใช้ได้เมื่อความเร็วลมไม่มากเกินไปเท่านั้น มิฉะนั้นอากาศจะเกิดการอัดตัวและปริมาณการไหลที่คำนวณได้จะไม่ถูกต้อง

<u>สมการของเบอร์นูลลี (Bernoulli's Equation)</u>

เป็นสมการที่อาศัยหลักการคงที่ของพลังงานในการไหล ณ จุดต่าง ๆ ซึ่งถือว่าไม่มีการสูญเสียพลังงานในการไหล สมการนี้คือ

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \tag{2.7}$$

เมื่อ p_1 และ p_2 คือ ความดันของของไหล ณ จุด 1 และ 2 ตามลำดับ

ρ คือ ความหนาแน่นของของไหลซึ่งสมมติว่าคงที่ตลอดการไหล

v_1 และ v_2 คือความเร็วในการไหลที่จุด 1 และ 2 ตามลำดับ

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

z_1 และ z_2 คือระดับความสูงจากระดับอ้างอิงใด ๆ ของจุด 1 และ 2 ตามลำดับ

ตัวอย่างสถานการณ์ที่สามารถใช้สมการนี้อธิบายได้ก็คือ การเปิดกระจกรถยนต์เล็กน้อยขณะรถวิ่ง อากาศในรถเมื่อเทียบกับความเร็วรถจะเท่ากับศูนย์ แต่อากาศภายนอกรถจะมีความเร็วสัมพัทธ์เท่ากับความเร็วรถ ดังนั้นความดันของอากาศภายในรถจึงสูงกว่า แมลงเล็ก ๆ ที่บินอยู่ใกล้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กับกระจกที่เปิดไว้จึงถูกดูดออกไปนอกรถได้ อย่างไรก็ตามการใช้สมการนี้เพื่อการคำนวณตัวเลขที่ถูกต้องนั้น ต้องสมมติว่าอากาศมีความเร็วไม่มากจนเกินไปและไม่มีการอัดตัวเช่นเดียวกับสมการ (2.6)

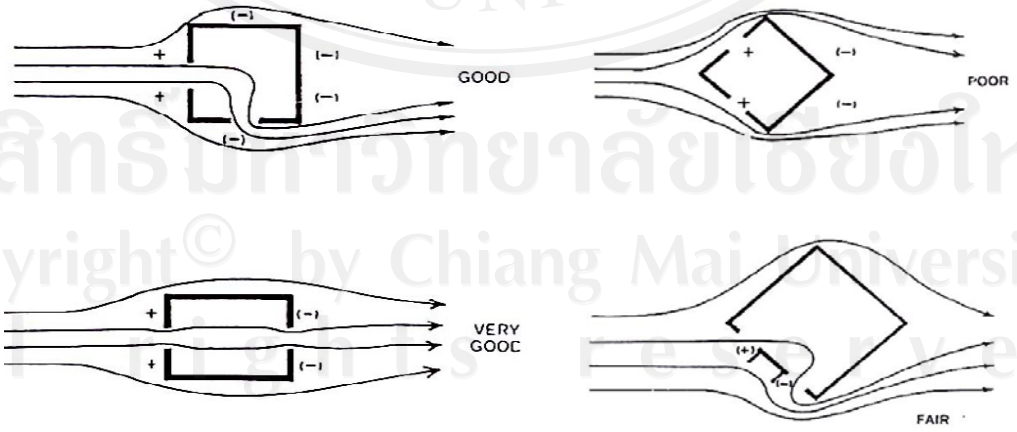
2.3.3 การไหลของอากาศที่มีผลต่ออาคาร

การระบายอากาศทางนอน เป็นการไหลของอากาศอันเนื่องมาจากความกดอากาศที่แตกต่างต่างกัน โดยจะไหลจากพื้นที่ที่มีความกดอากาศสูงไปหาพื้นที่ความกดอากาศต่ำ โดยความเร็วที่เกิดขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความกดอากาศที่สองตำแหน่งนี้เอง การเคลื่อนที่ของลมทำให้เกิดความสดชื่น เพราะเป็นการเพิ่มความระเหยของเหงื่อ ซึ่งทำให้อุณหภูมิของผิวหนังลดลง การลดอุณหภูมิด้วยการพัดผ่านของลมจะเกิดผล ในเมื่ออุณหภูมิอากาศมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิของร่างกาย (สมสิทธิ์ นิตยะ, 2541)

ปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการพัดผ่านอาคารของกระแสลม โดยทั่วไปมี 2 ประการคือ (Lechner, 1991)

- การเคลื่อนที่ของลม เนื่องจากความแตกต่างกันของความกดอากาศ
- การเคลื่อนที่ของลมเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ

แรงทั้งสองแรงนี้ แรงใดแรงหนึ่งก็สามารถเกิดการเคลื่อนที่ของอากาศได้ หรืออาจช่วยกันเกิดการพัดผ่าน หรืออาจขัดแย้งกันก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศของท้องถิ่น และการออกแบบอาคาร



ภาพที่ 2.1 แสดงลักษณะการพัดผ่านอาคารแบบต่างๆของกระแสลม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อาคารที่กระแสลมพัดผ่าน จะทำให้ความเร็วลมลดลง และทำให้การปะทะคั่งตัวกันของกระแสลมทางผนังด้านที่ปะทะลม ทำให้เกิดบริเวณ ความกดอากาศสูง และทำให้เกิดบริเวณ ความดันอากาศต่ำ ขึ้นทางด้านประชิดของด้านปะทะลม ในขณะเดียวกันทางด้านใต้ ลมจะเกิดบริเวณความกดต่ำ (ภาพที่ 2.1) เนื่องจากลมไหลข้ามไป ซึ่งบริเวณความกดต่ำจะมีเนื้อที่ค่อยๆน้อยลงตามระยะห่าง อันเกิดจากที่อากาศค่อยๆเข้ามาแทนที่ตามลำดับ สิ่งที่น่าสนใจก็คือว่าระยะห่างของช่วงความกดอากาศต่ำนี้ จนถึงบริเวณที่อากาศเริ่มเข้ามาแทนที่ จะมีระยะห่างประมาณ 2 เท่าของความสูง และ ลมจะมีความเร็วเท่ากับความเร็วเดิมก่อนผ่านอาคาร ที่ระยะประมาณ 7 เท่าของความสูง (Meleragno, 1982)

ความดันอากาศที่แตกต่างกันของด้านปะทะลม กับด้านใต้ลมเป็นแรงทำให้เกิดการไหลของอากาศภายใน อัตราการไหลเข้าแทนที่ของอากาศนี้ ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความดัน และประสิทธิภาพของการเปิดช่องให้อากาศเข้าออก

อัตราการไหลเข้าแทนที่ของอากาศเมื่อมีความเร็วสม่ำเสมอ และทางเข้า และทางออกของอากาศเท่ากัน (สมสิทธิ์ นิตยะ, 2541) สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$Q = KAV \tag{2.8}$$

ซึ่ง Q คืออัตราการไหลของอากาศ ft^3/hr

A คือพื้นที่หน้าตัดขนาดของทางเปิดเข้า ft^2

V คือความเร็วของกระแสลม ft/hr

K ค่าคงที่ ซึ่งจะมีตัวเลขเปลี่ยนไปตามอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด ระหว่างทางลมออก และทางลมเข้า มีค่าดังนี้

ตารางที่ 2.1 Effectiveness Factor

พื้นที่ทางออก : พื้นที่ทางเข้า	ค่าของตัวแทนค่า
1 : 1	3150
2 : 1	4000
3 : 1	4250
4 : 1	4350
5 : 1	4400
3 : 4	2700
1 : 2	2000
1 : 4	1100

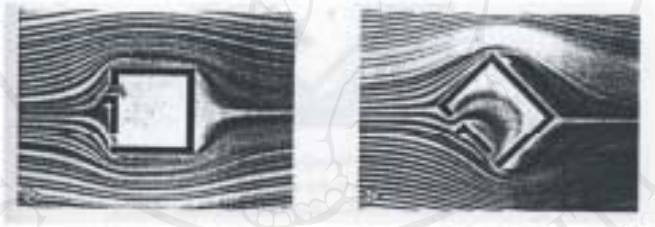
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการอ่านค่าทำให้สามารถวิเคราะห์ได้ว่าสำหรับอัตราการไหลของอากาศ ช่องเปิดทางอากาศไหลออก สำคัญกว่าช่องเปิดอากาศไหลเข้า

นอกนั้นยังมีหลายๆทฤษฎี และงานวิจัย ที่มีการทดสอบลักษณะการไหลของอากาศที่สัมพันธ์กับอาคาร ดังเช่น

ทิศทางของอาคารที่เหมาะสมกับการใช้ช่องเปิดแบบ Single Side Ventilation

การจัดวางตำแหน่งทิศทางของอาคารเพื่อการไหลเวียนของอากาศที่ดีไม่ได้หมายความว่าทิศทางของอาคารจะต้องตั้งฉากกับทิศทางของการไหลกระแสลมเสมอไป ลมที่มีทิศทางทำมุมระหว่าง 20-70 องศา กับทิศทางผนังอาคารสามารถทำให้อากาศสามารถไหลเวียนเข้ามาสู่อาคารได้ และจะมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นเมื่อช่องเปิดถูกสร้างในลักษณะที่เป็นผนังดักลมยื่นออกมาจากอาคาร ดังตัวอย่างใน ภาพที่2.2 แสดงให้เห็นการทดลองเมื่อลมมาปะทะกับผนังที่เจาะช่องเปิดเพียงด้านเดียวในทิศทางตั้งฉาก ลมจะไม่เข้ามาในห้องในปริมาณที่น้อยมาก พอมีการเปลี่ยนทิศทางทำมุม 45 องศากับผนังของอาคารแล้ว จะปรากฏเห็นได้ว่าลมเข้ามาได้ดีขึ้น (มาลินี ศรีสุวรรณ, 2543)

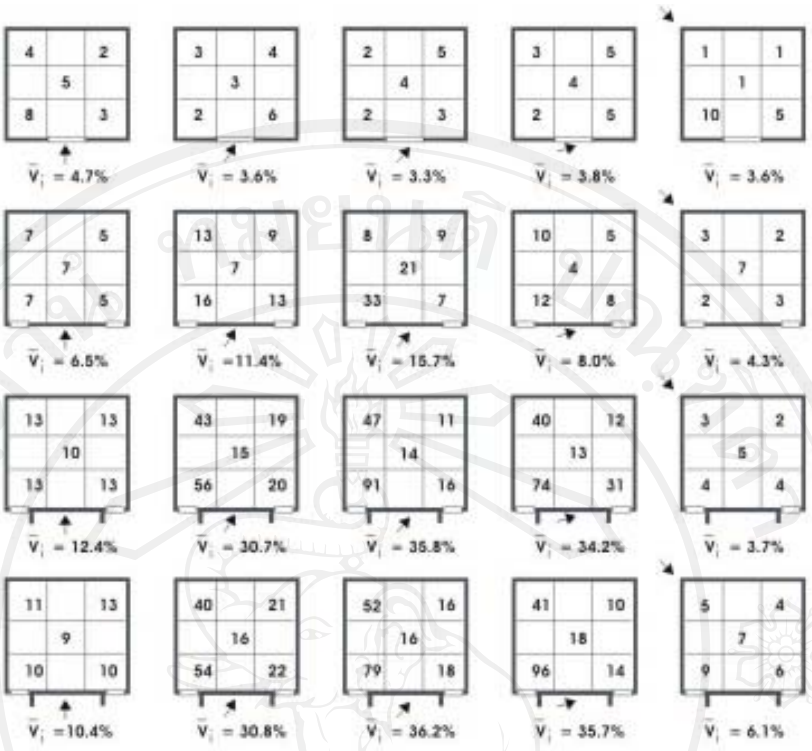


ภาพที่ 2.2 การทดสอบเรื่องทิศทางอาคารกับการไหลของอากาศด้วยโต๊ะน้ำ

ผนังดักลม (Wing Wall)

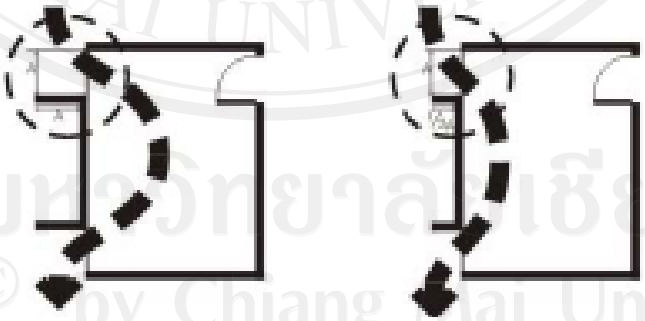
เมื่อทิศทางของกระแสลมทำมุมเอียงกับผนังอาคาร เราสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการไหลของอากาศให้ดีมากขึ้น โดยใช้ผนังดักลม ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความแตกต่างของความดันระหว่างหน้าต่างทั้งสองได้ ผลกระทบต่อการใช้ผนังดักลมต่อความเร็วเฉลี่ยของลมภายในในห้องแสดงในภาพที่ 2.3 โดยตัวเลขที่อยู่ในช่องสี่เหลี่ยม คือ เปอร์เซ็นต์ของความเร็วลม ณ ตำแหน่งนั้นเทียบกับความเร็วลมภายนอกอาคารที่ระดับเดียวกัน และค่า V_i ใต้ภาพคือเปอร์เซ็นต์ของความเร็วเฉลี่ยเทียบกับความเร็วภายนอกอาคารที่ระดับเดียวกัน (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยีแห่งชาติ, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



<u>ภาพที่ 2.3</u> การทดสอบการไหลของอากาศภายในห้องที่มีผลจากการใช้ผนังดักลม

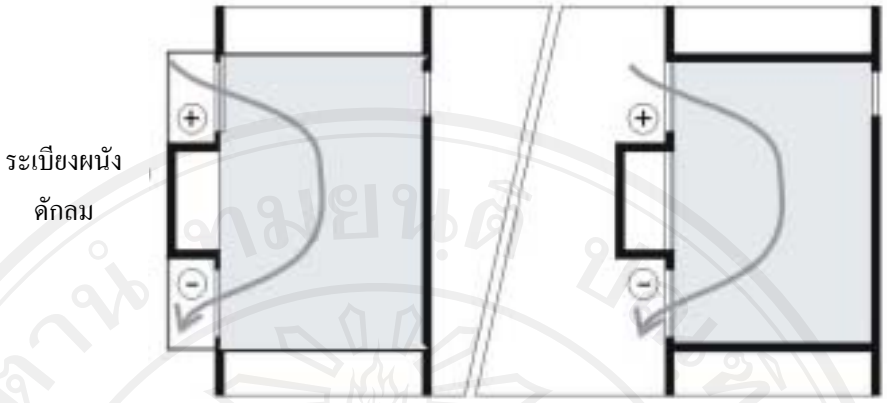
ขนาดของผนังดักลมที่เหมาะสมควรจะเท่ากับขนาดของช่องเปิด และเล็กที่สุดไม่ควรน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของความกว้างช่องเปิด (สำนักพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2544)



ขนาดที่เหมาะสมของ Wing Wall ขนาดที่เล็กที่สุดเหมาะสมของ Wing Wall

<u>ภาพที่ 2.4</u> ตัวอย่างขนาดของแผงดักลมที่เหมาะสมกับขนาดของช่องเปิด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.5 แสดงส่วนประกอบอาคารที่ทำหน้าที่คล้าย Wing Wall

2.3.4 การคำนวณความเร็วของการไหลอากาศ

ความเร็วของการไหลของอากาศ หรือลมที่จุดต่างๆสามารถคำนวณได้ตามทฤษฎี Fluid Dynamics ซึ่งอธิบายในลักษณะของ การคำนวณการไหลแบบหนืด (ปราโมทย์ เดชะอำไพ และสุทธิศักดิ์ พงศ์ธนาพาณิช, 2548)

ในระบบสองมิติ ความเร็วในการไหลตามทฤษฎีการไหลแบบหนืดของของไหลที่ไม่อัดตัวสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้คือ

สมการของการอนุรักษ์มวล (Conservation of Mass):

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y} = 0 \tag{2.9}$$

สมการของการอนุรักษ์โมเมนตัม (Conservation of Momentum) ในแนวแกน x:

$$\rho\frac{\partial u}{\partial t}+\rho\left(u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}\right)+\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial\left[2\mu\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)\right]}{\partial x}+\frac{\partial\left[\mu\left(\frac{\partial v}{\partial x}+\frac{\partial u}{\partial y}\right)\right]}{\partial y} \tag{2.10}$$

และ*สมการของการอนุรักษ์โมเมนตัม (Conservation of Momentum) ในแนวแกน y:*

$$\rho\frac{\partial v}{\partial t}+\rho\left(u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}\right)+\frac{\partial p}{\partial y} = \frac{\partial\left[\mu\left(\frac{\partial v}{\partial x}+\frac{\partial u}{\partial y}\right)\right]}{\partial x}+\frac{\partial\left[2\mu\left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)\right]}{\partial y} \tag{2.11}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของของไหลซึ่งสมมติว่าคงที่ตลอดการไหล

u คือ ความเร็วของของไหลในแนวแกน x

v คือ ความเร็วของของไหลในแนวแกน y

t คือ เวลาที่ต้องการพิจารณาการไหล

p คือ ความดันของของไหล

x คือ ตำแหน่งที่ต้องการพิจารณาการไหลตามแนวแกน x

y คือ ตำแหน่งที่ต้องการพิจารณาการไหลตามแนวแกน y

μ คือความหนืดของของไหล

สมการทั้งหมดที่กล่าวมาข้างบนนั้น เป็นสมการอนุพันธ์ย่อย (Partial Differential Equations) ต้องอาศัยความรู้ทางคณิตศาสตร์ขั้นสูงในการแก้สมการหาคำตอบ ซึ่งใช้เวลามากพอสมควรสำหรับการแก้สมการหนึ่งครั้ง เพื่อหาคำตอบที่ตำแหน่งในที่โล่งนั้นเพียงตำแหน่งเดียว ดังนั้น การศึกษาลักษณะการไหลของอากาศในอาคารในอดีตที่ผ่านมาสำหรับการเรียนการสอนสถาปัตยกรรมศาสตร์จึงนิยมใช้โต๊ะน้ำเพื่อจำลองการไหลของอากาศแทน

เพื่อลดปัญหาในการแก้สมการทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนและเสียเวลามาก นักคณิตศาสตร์และวิศวกรได้คิดค้น วิธีการหาคำตอบโดยอาศัยเทคนิควิธีการคำนวณเชิงพีชคณิตธรรมดา ซึ่งภาษาอังกฤษเรียกว่า Computation Methods หรือ Numerical Methods โดยแทนที่จะแก้สมการที่ซับซ้อนเหล่านั้นโดยตรงตามทฤษฎีของแคลคูลัสชั้นสูงทีละตำแหน่ง ก็ใช้เทคนิควิธีเหล่านี้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ให้คำนวณหาคำตอบให้ การใช้วิธีนี้จะทำให้สามารถหาคำตอบได้อย่างรวดเร็วและพร้อมกันหลายตำแหน่งในขอบเขตของปัญหาที่พิจารณา หนึ่งในเทคนิควิธีที่นิยมกันมากในปัจจุบัน คือ วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved