บทที่ 2

งานวิจัยที่ผ่านมา

2.1 วิธีการทดสอบแบบจำลองในอุโมงค์ลม เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลม

ในช่วงปี 1960 เริ่มมีการทดสอบแบบจำลองในอุโมงค์ลม เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมสำหรับการออกแบบผนังภายนอกอาคารได้ ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งเป็นวิธีการที่มีความถูกต้อง และมีความน่าเชื่อถือมากที่สุด นอกจากนี้ยังใช้ในการหาค่าหน่วยแรงลมของอาคารที่มีรูปร่างที่ซับซ้อน หรือมีลักษณะพิเศษแบบต่างๆ และศึกษาผลกระทบของอาคารข้างเคียง ซึ่งไม่ครอบคลุมอยู่ในมาตราฐานคำนวณหน่วยแรงลม

Marshall และCermak (1966) ทำการทดสอบแบบจำลองในอุโมงค์ลม เพื่อหาค่าหน่วยแรงลมสำหรับการออกแบบผนังภายนอกของอาคาร Bank of America World Headquarters Building ซึ่งเป็นอาคารที่รูปทรงกลมมน และได้ทำการทดสอบที่ Fluid Dynamic and Diffusion Laboratory, Colorado State University โดยมีการจำลองลมตามธรรมชาติให้ใกล้กับสภาพภูมิประเทศแบบชานเมือง มีความสูงของขั้นบาวดาริ่เรเยอร์ 3 ฟุต ใช้อัตราส่วนการย่อส่วนมิติเท่ากับ 1:200 ในการจำลองอาคารจริง และสภาพที่ตั้งและรายละเอียดรอบข้างของอาคาร

Davenport และIsyumov (1967) ทำการทดสอบแบบจำลองในอุโมงค์ลม เพื่อหาค่าหน่วยแรงลมสำหรับการออกแบบผนังภายนอกของอาคาร United States Steel Building ซึ่งเป็นอาคารที่รูปทรงสามเหลี่ยม และได้ทำการทดสอบที่ BLWT The University of Western Ontario ซึ่งเป็นอุโมงค์ลมแบบเปิด มีขนาดหน้าตัดของอุโมงค์ลม กว้าง 8 ฟุต สูง 8 ฟุต และ ยาวประมาณ 100 ฟุต โดยมีการจำลองลมตามธรรมชาติให้ใกล้กับสภาพภูมิประเทศแบบชานเมือง มีความสูงของขั้นบาวดาริ่เรเยอร์ 4 ฟุตใช้อัตราส่วนการย่อส่วนมิติเท่ากับ 1:200 ในการจำลองอาคารจริง และสภาพที่ตั้งและรายละเอียดรอบข้างของอาคาร

Sadeh, Cermak และHis (1969) ทำการทดสอบแบบจำลองในอุโมงค์ลม เพื่อหาค่าหน่วยแรงลมสำหรับการออกแบบผนังภายนอกของอาคาร Atlantic-Richfield Plaza Building ซึ่งเป็นอาคารคู่แฝด มีช่องลมผ่านระหว่างอาคาร อาคารลักษณะนี้มีค่าหน่วยแรงลมสูงมาก เนื่องจากกระแสลมที่ไหลผ่านจะถูกบีบให้มีความเร็วลมที่สูงมาก ได้ทำการทดสอบที่ Fluid Dynamic and Diffusion Laboratory, Colorado State University โดยมีการจำลองลมตามธรรมชาติให้ใกล้กับ

Banies (1963) ได้เสนอผลการศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลม โดยทำการทดสอบแบบจำลองรูปทรงลูกบาศก์ ที่มีอัตราส่วนความกว้าง ความยาว และความสูง เท่ากับ 30:30:30 ซม. (1:1:1) และ แบบจำลองแข็งรูปสี่เหลี่ยมทรงสูง ในสภาพลมแบบแบบปั่นป่วน (turbulent boundary-layer flow) ผลการทดสอบพบว่า แบบจำลองรูปทรงลูกบาศก์ ที่ผนังด้านต้นลมมีค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมเฉลี่ยเป็นแรงดันมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.7 ที่ผนังด้านข้างมีค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมเฉลี่ยเป็นแรงดูด โดยมีค่าอยู่ระหว่าง -0.5 ถึง -0.8 ผนังด้านท้ายลมมีค่าเป็นแรงดูด การกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมเฉลี่ยสม่ำเสมอ มีค่าอยู่ประมาณ -0.2 และสำหรับแบบจำลองสี่เหลี่ยมทรงสูง ผนังด้านต้นลมมีค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมเฉลี่ยเป็นแรงดันจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.9 ผนังด้านข้างมีค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมเฉลี่ยเป็นแรงดูดทั้งหมด โดยมีค่าอยู่ระหว่าง -0.6 ถึง -0.7 ผนังด้านท้ายลมมีค่าเป็นแรงดูด การกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมเฉลี่ยสม่ำเสมอ โดยมีค่าอยู่ประมาณ -0.5

Cheung (1984) ได้เสนอผลการศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลม โดยทำการทดสอบแบบจำลองรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสในอุโมงค์ลม ซึ่งเป็นตัวแทนของอาคารสูงปานกลาง ที่มีอัตราส่วนความสูงต่อความกว้าง เท่ากับ 2.1 ในสภาพลมแบบแบบปั่นป่วน ผลการทดสอบพบว่าที่ผนังด้านต้นลมมีค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมเฉลี่ยเป็นแรงดันจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.8 และมีค่าสูงสุดที่ระดับความสูงประมาณ 0.8 ของความสูงของอาคาร ที่ผนังด้านข้างมีค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมเฉลี่ยเป็นแรงดูดทั้งหมด โดยมีค่าอยู่ระหว่าง -0.5 ถึง -0.9 สำหรับที่ผนังด้านท้ายลมมีค่าเป็นแรงดูดเช่นเดียวกับผนังด้านข้างแต่การกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมเฉลี่ยค่อนข้างสม่ำเสมอกว่าผนังด้านข้างของอาคาร โดยมีค่าอยู่ประมาณ -0.4 ขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงดันลมสูงสุดมีค่าเท่ากับ 1.8 ที่ผนังด้านต้นลมและค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมดูดสูงสุดมีค่าเท่ากับ -3.8 ที่เกิดบริเวณมุมของผนังด้านข้าง

Surry และDjakovich (1995) ได้เสนอผลการศึกษาเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมที่ได้จากแบบจำลองของอาคารสูง และความสัมพันธ์ของรูปร่างของอาคารทั้งสิ้น 4 แบบกับ ได้แก่ อาคารที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมขนมเปียกที่มีมุมเอียง 45 องศา อาคารที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมขนมเปียกที่มีมุมเอียง 60 องศา อาคารที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส และอาคารที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่การลดมุมให้มีลักษณะกลมมน ซึ่งมีความสูงเท่ากันทุกอาคาร ทำการทดสอบโดยเปลี่ยนแปลงลักษณะการจำลองลมตามธรรมชาติ เช่น ค่าความเร็วเฉลี่ยที่ระดับความสูงต่างๆเหนือพื้นดินที่แสดงลักษณะของชั้นบาวดารี่เยอร์ ซึ่งเป็นค่ายกกำลังเท่ากับ 0.15, 0.26 และ0.43 ตามความสัมพันธ์ในรูปของกฎยกกำลัง ผลการทดสอบพบว่าเมื่อเปลี่ยนรูปร่างของแบบจำลอง ค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมสูงสุดที่เกิดบน

Smith และRofail (1994) ได้เสนอผลการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมสูงสุดที่ได้จากการทดสอบแบบจำลองในอุโมงค์ลม เพื่อเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมสูงสุดที่ได้จากข้อกำหนดมาตรฐานการคำนวณหน่วยแรงลมของประเทศออสเตเลีย, AS 1170.2-1989 ทำการศึกษาแบบจำลองของอาคาร central business district,(CBD) เป็นอาคารที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส การทดสอบนี้ ประกอบไปด้วย การจำลองลักษณะลมธรรมชาติในอุโมงค์ลม และจำลองสภาพของอาคารข้างเคียง ใช้อัตราส่วนการย่อส่วนมิติเท่ากับ 1:500 การทดสอบเพื่อตรวจวัดค่าความดันลมภายนอกอาคารภายใต้แรงลมกระทำในแต่ละทิศทางลม 10 องศา รวมทั้งสิ้น 36 ทิศทาง พบว่าค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมสูงสุดที่ได้จากข้อกำหนดมาตรฐานการคำนวณหน่วยแรงลม AS 1170.2-1989 มีค่าสูงกว่าค่าหน่วยแรงลมสูงสุดที่ได้จากการทดสอบในอุโมงค์ลม

Irwin และBaker (2003) ได้ทำการทดสอบแบบจำลองในอุโมงค์ลม เพื่อหาค่าหน่วยแรงลมสูงสุด สำหรับการออกแบบผนังภายนอกของอาคาร Burj Dubai เป็นอาคาที่มีรูปทรงซับซ้อน และมีความสูงเท่ากับ 600 เมตร ได้ทำการทดสอบที่อุโมงค์ลมของ RWDI มีขนาดหน้าตัดของอุโมงค์ลม 2 ขนาด คือ กว้าง 2.4 เมตร สูง 1.9 เมตร และกว้าง 4.9 เมตร สูง 2.4 เมตร โดยมีการจำลองลมตามธรรมชาติให้ใกล้กับสภาพภูมิประเทศแบบชายฝั่ง และจำลองสภาพของอาคารข้างเคียง โดยทำแบบจำลองที่ใช้อัตราส่วนการย่อส่วนมิติเท่ากับ 1:500 และ1:50 เพื่อศึกษาผลกระทบจากค่าตัวเลขโรเนลด์ (Reynolds number effects) ผลการทดสอบพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมเฉลี่ยที่ได้จากทดสอบแบบจำลองที่มีอัตราส่วนการย่อส่วนมิติเท่ากับ 1:50 ไม่แตกต่างจากค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมเฉลี่ยที่ได้จากทดสอบแบบจำลองที่มีอัตราส่วนการย่อส่วนมิติเท่ากับ 1:500 ผลกระทบจากค่าตัวเลขโรเนลด์จึงไม่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมที่ได้จาการทดสอบ และค่าหน่วยแรงลมภายในอยู่ในช่วง 2.0 kPa ถึง 5.5 kPa. สำหรับค่าความเร็วที่คาบการกลับ 50 ปี ค่าหน่วยแรงลมดูดสูงสุดอยู่ในช่วง 2.0 kPa ถึง 3.5 kPa และค่าหน่วยแรงดันลมสูงสุดอยู่ในช่วง 1.5 kPa ถึง 2.5 kPa.

สำหรับในประเทศไทย งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบแบบจำลองในอุโมงค์ลมเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลม สำหรับการออกแบบผนังภายนอกของอาคาร ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง Lukkunaprasit และ Phiensusom (1996) ได้ทำการทดสอบแบบจำลองภายในอุโมงค์ลม เพื่อตรวจวัดค่าความดันลม ที่เกิดขึ้นที่ผนังภายนอกของอาคาร JTC (jewelry trade center complex) และหาค่าสัมประสิทธิ์ค่าหน่วยแรงลม โดยรูปทรงของอาคาร JTC มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีความกว้าง 26.8 เมตร ความยาว 60.2 เมตร และความสูง 221.1 เมตร ที่มุมของอาคารมีการลดมุม (conner cut) การทดสอบนี้ ประกอบไปด้วย การจำลองลักษณะลมธรรมชาติในอุโมงค์ลม และจัดทำแบบจำลองแบบแข็ง จำลองสภาพของอาคารข้างเคียง การทดสอบเพื่อตรวจวัดค่าความดันลมภายนอกอาคารภายใต้แรงลมกระทำในแต่ละทิศทางลม 45 องศา รวมทั้งสิ้น 8 ทิศทาง ผลการทดสอบพบว่า ค่าหน่วยแรงดันลมสูงสุดเฉพาะจุด มีค่าอยู่ระหว่าง 90-130 กก./ม^2 ขณะที่ค่าหน่วยแรงดูดสูงสุดเฉพาะจุด มีค่าอยู่ระหว่าง 160-240 กก./ม^2

เพียรสุสม (2535) ได้ศึกษาค่าหน่วยแรงลม สำหรับการออกแบบผนังภายนอกของอาคารสูง จากการทดสอบแบบจำลองในอุโมงค์ลม พบว่าค่าหน่วยแรงดันลมสูงสุดเฉพาะจุด (peak local pressures and suctions) สำหรับอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร มีค่าประมาณ 60 – 140 กก./ม^2 สำหรับค่าหน่วยแรงดันสูงสุดเฉพาะจุด และมีค่าประมาณ 100 – 200 กก./ม^2 สำหรับค่าหน่วยแแรงดูดสูงสุดเฉพาะจุด ซึ่งเป็นค่าที่แตกต่างไปจากค่าที่กำหนดไว้ในการออกแบบอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร เป็นการแสดงว่าควรมีการทำการทดสอบในอุโมงค์ลม เพื่อเป็นการหาค่าหน่วยแรงลมที่เหมาะสมในการออกแบบผนังภายนอกของอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร

บุญญภิญโญ และคณะ (2006) ได้ทำการทดสอบแบบจำลองในอุโมงค์ลม เพื่อตรวจวัดค่าความดันลม ที่เกิดขึ้นที่ผนังภายนอกของอาคาร CWH (central world hotel) และหาค่าสัมประสิทธิ์ค่าหน่วยแรงลม โดยรูปทรงของอาคาร CWH มีลักษณะเป็นรูปกลมมนคล้ายรูปเลขแปด มีกว้าง 16.5 เมตร ความยาว 33.0 เมตร และความสูง 184.45 เมตร การทดสอบนี้ ประกอบไปด้วย การจำลองลักษณะลมธรรมชาติในอุโมงค์ลม และจัดทำแบบจำลองแบบแข็ง จำลองสภาพของอาคารข้างเคียง การทดสอบเพื่อตรวจวัดค่าความดันลมภายนอกอาคารภายใต้แรงลมกระทำในแต่ละทิศทางลม 22.5องศา รวมทั้งสิ้น 16 ทิศทางผลการทดสอบ ผลการทดสอบพบว่า ค่าหน่วยแรงดันลมสูงสุดเฉพาะจุด มีค่าอยู่ระหว่าง 80-120 กก./ม^2 ขณะที่ค่าหน่วยแรงดูดสูงสุดเฉพาะจุด มีค่าอยู่ระหว่าง 150-200 กก./ม^2 แต่ในบางพื้นที่ของอาคารมีค่าหน่วยแรงดูดสูงสุดเฉพาะจุด สูงถึง 200-250 กก./ม^2

2.2 การวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาค่าหน่วยแรงลมสูงสุด สำหรับการออกแบบผนังภายนอกอาคาร

Peterka และCermak (1975) ได้ทำการทดสอบแบบจำลองในอุโมงค์ลมของอาคาร federal reserve bank โดยรูปทรงของอาคารมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีความกว้าง 46 เมตร มีความสูง 139 เมตร การจำลองลักษณะลมธรรมชาติในอุโมงค์ลม และทำการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาค่าหน่วยแรงลมสูงสุด โดยพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูล ซึ่งสามารถจำแนกสภาวะของหน่วยแรงลมได้จากค่าสัมประสิทธ์หน่วยแรงลมเฉลี่ย เมื่อ $C_{p,mean} > -0.1$ ซึ่งเป็นสภาวะแบบหน่วยแรงดันลม (pressure) มีการกระจายตัวแบบเกาส์เซียน(gaussian distribution) เมื่อหาค่าสูงสุดของกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลม โดยใช้วิธีของ Davenport (1964) ซึ่งประยุกต์จากหลักการ upcrossing theory (Rice 1944) จะให้ค่าสูงสุดที่เหมาะสม และสำหรับ $C_{p,mean} < -0.25$ ซึ่งเป็นสภาวะแบบหน่วยแรงลมดูด (suction) มีการกระจายตัวไม่เป็นแบบเกาส์เซียน(non-gaussian distribution) เมื่อหาค่าสูงสุดของกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลม โดยใช้วิธีของ Davenport (1964) จะให้ค่าสูงสุดที่ไม่เหมาะสม พบว่าการกระจายตัวของสภาวะหน่วยแรงดันลมมีลักษณะใกล้เคียงกับวิธีการหาค่าสูงสุดของ Davenport และการกระจายตัวของค่าสภาวะหน่วยแรงลมดูดมีลักษณะไม่ใกล้เคียงกับวิธีการหาค่าสูงสุดของ Davenport เนื่องจากการกระจายตัวที่เบี่ยงเบนไปมาก สำหรับ $C_{p,mean} < -0.25$ ซึ่งเป็นสภาวะแบบหน่วยแรงลมดูด มีการกระจายตัวไม่เป็นแบบเกาส์เซียน ซึ่งได้เสนอว่าให้มีการกระจายตัวแบบเอ็กโปรเทนเชียน (exponential distribution)

W.H. Melbourne (1977) ได้เสนอวิธีการหาค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลม โดยพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูล สำหรับการกระจายตัวแบบเอ็กโปรเทนเชียน ซึ่งเป็นสภาวะแบบหน่วยแรงลมดูด โดยประยุกต์จากหลักการ upcrossing theory (Rice 1944) และใช้หาค่าสูงสุดสำหรับการกระจายตัวแบบเอ็กโปรเทนเชียน

Li, Calderone และMelbourne (1999) ได้ศึกษาการกระจายของค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมสำหรับสภาพลมที่เกิดการแบ่งแยกที่มุมของอาคาร ซึ่งเป็นสภาวะหน่วยแรงลมดูด โดยเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความแปรปรวนของลม (turbulence intensity profile) เพื่อพิจารณาถึงผลกระทบต่อการกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลม ผลการทดสอบพบว่าค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลม มีการกระจายตัวที่ใกล้เคียงกับการกระจายตัวแบบล็อกนอมอร์ (lognormal distribution) และเมื่อหาค่าสูงสุดของกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลม ซึ่งประยุกต์จากหลักการ upcrossing theory (Rice 1944) ใช้หาค่าสูงสุดสำหรับการกระจายตัวแบบล็อกนอมอร์ ได้ค่าสูงสุดดีกว่า

$I_u \geq 15\%$

Tieleman, Ge และHajj (2003) ได้เสนอวิธีการหาค่าสูงสุดของค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลม สามารถแบ่งหลักการในวิเคราะห์ได้ 2 วิธี ได้แก่ 1.วิธีพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูล โดยตั้งสมมุติฐานว่าค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงมีการกระจายตัวแบบแกมม่า (gamma distribution) ซึ่งสามารถหาค่าสูงสุดจากวิธีของ Davenport ที่พิจารณาว่าค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมมีการกระจายตัวแบบเกาส์เซียนและใช้วิธี standard translation processes approach ที่เสนอโดย Grigoriu (1995)ในการแปลงจากฟังก์ชั่นการแจกแจงสะสมของค่าสูงสุดของการแจงแจกความน่าจะเป็นแบบกัสเซียน, $F'_{pk}(y_{pk})$ ไปยังฟังก์ชั่นการแจกแจงสะสมของค่าสูงสุดของการแจงแจกความน่าจะเป็นแบบแกมม่า, $F_{pk}(x_{pk})$ ใช้ความสัมพันธ์ของจุดตัด $F'_{xpk}\left(x_{pk}\right) = F'_{ypk}\left(y_{pk}\right)$ จะได้ค่าสูงสุดของค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมที่ มีการกระจายตัวแบบแกมม่า, x_{pk} ได้ สำหรับวิธี 2 การกระจายตัวค่าปลายสุดแบบที่ 1 จะพิจารณาช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลของค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมมีระยะเวลานานจนสามารถแบ่งข้อมูลออกหลายส่วน ซึ่งให้ระยะเวลาในแต่ละส่วนเท่ากับ 30 วินาที ทำการแบ่งข้อมูลในแต่ละครั้งออกเป็น 16 ข้อมูล การหาค่าสูงสุดของข้อมูลแต่ละส่วนเพื่อเป็นตัวแทนของข้อมูลแต่ละส่วน ใช้หลักการทฤษฎีค่าปลายสุดแบบที่ 1(Extreme value distribution type I) เสนอวิธีการหาค่าพารามิเตอร์ 2 แบบ คือ 1 แบบวิธีพล็อตของความน่าจะเป็น และ 2 แบบวิธีโมเมนต์ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าสูงสุดที่ได้จากพารามิเตอร์แบบวิธีโมเมนต์สูงกว่าค่าสูงสุดที่ได้จากพารามิเตอร์แบบวิธีพล็อตของความน่าจะเป็นเท่ากับ 8.5%

Holmes (2003) ได้เสนอวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมสูงสุด โดยการทำการตรวจวัดค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลม จำนวนหลายครั้งในแต่ละตำแหน่ง นำค่าที่ได้ในแต่ละครั้งมาวิเคราะห์ทางสถิติ ใช้หลักการทฤษฎีค่าปลายสุดแบบทั่วไป (Generalized extreme value distribution) ใช้วิธี Probability weighted moment, (PWM) ในการประมาณค่าพารามิเตอร์