บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความนำ

การออกแบบโครงสร้างโดยทั่วไปในงานวิศวกรรมโยธา แรงกระทำต่อโครงสร้างที่ผู้ออกแบบคำนึงถึง จะประกอบด้วย แรงกระทำในแนวดิ่ง ซึ่งเกิดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ และน้ำหนักบรรทุกจร และ แรงกระทำในแนวราบ ซึ่งเกิดจากแรงลม และ แรงเนื่องจากแผ่นดินไหว ฯลฯ ในโครงสร้างที่ไม่สูงมากนัก แรงกระทำในแนวราบอาจมีผลต่อการออกแบบโครงสร้างน้อย แต่ในโครงสร้างที่มีความสูงมากขึ้น หรือ มีความอ่อนตัว (Flexibility) มาก ผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงแรงกระทำในแนวราบ ซึ่งจะมีผลต่อการออกแบบโครงสร้างเป็นอย่างมาก ทำให้มีการเพิ่มขนาดชิ้นส่วนของโครงสร้างเพื่อเพิ่มความต้านทาน สำหรับในเขตกรุงเทพมหานคร ค่าหน่วยแรงลมที่ใช้ในการออกแบบ ตามข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร เรื่อง การควบคุมการก่อสร้างอาคาร ปี พ.ศ. 2522 [1] ซึ่งกำหนดตามความสูงดังตารางที่ (1-1)

ปัจจุบันโครงสร้างอาคารสูงมีแนวโน้มที่จะสูงยิ่งขึ้น และ มีจำนวนมากขึ้น พฤติกรรมของการตอบสนองของโครงสร้างที่สูง หรือ มีความอ่อนตัวมาก จะแตกต่างจากโครงสร้างที่ไม่สูง หรือ มีสติฟเนสมาก การวิเคราะห์หาค่าการตอบสนองของโครงสร้างต่อแรงลมจึงจำเป็นต้องใช้วิธีทางด้านพลศาสตร์ และ ทางด้านสถิติศาสตร์เข้ามาร่วมด้วย ตัวแปรที่สำคัญในการวิเคราะห์โครงสร้างทางด้านพลศาสตร์ ได้แก่ ค่าความถี่ธรรมชาติ (ซึ่งขึ้นอยู่กับ มวล และสติฟเนสของโครงสร้าง) ค่าอัตราส่วนการหน่วง และ สัดส่วนของโครงสร้าง ส่วนตัวประกอบที่มีผลต่อการวิเคราะห์ด้านสถิติศาสตร์ ได้แก่ ชนิด และ ความสำคัญของโครงสร้าง และ สหสัมพันธ์ของความเร็วลมระหว่างจุดต่างๆ บนโครงสร้าง ปัจจัยเหล่านี้จะมีผลต่อค่าหน่วย

แรงลมสถิตเทียบเท่าที่ต้องใช้ออกแบบอาคาร ยกตัวอย่าง เช่น โครงสร้างที่มีความสูงเท่ากัน แต่มีสติฟเนสต่างกัน ดังรูปที่ (1-1) โครงสร้างรูปที่ (1-1) ก. มีสติฟเนสน้อยกว่าโครงสร้างในรูปที่ (1-1) ข. พฤติกรรมการตอบสนองของโครงสร้างในรูป (1-1) ก. และรูป (1-1) ข. จะไม่เหมือนกัน เนื่องจากโครงสร้างในรูป (1-1) ก. จะให้ผลการตอบสนองเป็นอย่างมากต่อแรงกระทำที่มีความถี่สูง ในขณะที่โครงสร้างในรูป (1-1) ข. จะให้ผลการตอบสนองเป็นอย่างมากต่อแรงกระทำที่มีความถี่ต่ำ และ ในขณะเดียวกันโครงสร้างที่เหมือนกัน แต่ลักษณะการใช้งานไม่เหมือนกัน เช่น ที่อยู่อาศัย และ โรงพยาบาล การออกแบบโครงสร้างเพื่อรับแรงลมในโครงสร้างทั้งสองนี้ก็ไม่ควรจะเท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจากโรงพยาบาลนั้นมีความสำคัญมากกว่าที่อยู่อาศัย จึงจำเป็นต้องพิจารณาออกแบบให้ต้านทานแรงลมที่จะมีโอกาสเกิดขึ้นน้อยกว่าอาคารที่อยู่อาศัย เช่น ใช้ความเร็วลมออกแบบที่มีคาบการกลับ (Return Period) 100 ปีแทนที่จะใช้เพียง 50 ปี ซึ่งใช้สำหรับกรณีทั่วๆไป เป็นต้น

เมื่อเปรียบเทียบข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ. 2522 ในส่วนของการออกแบบโครงสร้างเพื่อรับแรงลมกับมาตรฐาน หรือ ข้อกำหนดของต่างประเทศ เช่น อังกฤษ [2] แคนาดา [3] หรือ สหรัฐอเมริกา [4] แล้ว จะพบว่า ค่าหน่วยแรงลมที่ใช้ในการออกแบบตามข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ. 2522 ยังไม่เหมาะสม ทั้งนี้อาจจะให้ค่าที่สูง หรือ ต่ำกว่าความเป็นจริง ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจ หรือ ทำให้เกิดความไม่ปลอดภัยต่อโครงสร้าง ตามลำดับ และ ยังไม่สามารถนำไปประยุกต์ในการวิเคราะห์การตอบสนองของโครงสร้างทางด้านพลศาสตร์ในเงื่อนไขที่แตกต่างออกไปอีกด้วย เนื่องจากไม่ทราบค่าความเร็วลมที่ใช้ในการออกแบบ ดังนั้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาวิจัยว่า ค่าหน่วยแรงลมที่ใช้ในการออกแบบอาคารสูงรูปสี่เหลี่ยมในกรุงเทพฯ ควรจะเป็นเท่าไร เพื่อให้เกิดความปลอดภัย และ ประหยัดตามชนิด และ การใช้งานของโครงสร้าง

1.2 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ที่สำคัญในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ คือ

1. ศึกษา และ รวบรวมข้อมูลความเร็วลมที่มีอยู่ในปัจจุบันในกรุงเทพฯ
2. ศึกษาวิธีวิเคราะห์การตอบสนองของโครงสร้างอาคารสูง หรือ โครงสร้างที่มีความอ่อนตัวสูงเมื่อรับแรงลม
3. หาค่าหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า ที่ใช้ในการออกแบบอาคารสูงรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าในกรุงเทพฯ โดยพิจารณาผลการตอบสนองของโครงสร้างทางด้านพลศาสตร์ด้วย
4. เพื่อเป็นแนวทางการประยุกต์ในการออกข้อกำหนดของหน่วยแรงลม ที่ใช้ในการออกแบบอาคารสูงในกรุงเทพฯ

1.3 ขอบข่ายงานวิจัย

ขอบข่ายในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ คือ

1. เป็นการวิเคราะห์ และ หาพฤติกรรมของโครงสร้างอาคารสูงที่มีผังเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าในกรุงเทพฯ
2. ไม่คิดผลของความไม่เสถียรทางอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamic Instability)
3. ไม่คิดผลการบิด และ การตอบสนองของโครงสร้างในทิศทางที่ตั้งฉากกับความเร็วลม
4. คิดผลการตอบสนองของโครงสร้างในโหมด (Mode) แรกเท่านั้น

1.4 งานวิจัยที่ผ่านมา

ในปี ค.ศ. 1960 Davenport [5] ได้เสนอวิธีหาค่าความเร็วลมออกแบบโดยใช้ทฤษฎีค่าปลายสุด (Extreme Value Theory) ของ Fisher - Tippett ชนิดที่ 1 (Gumbel) และ ใช้ข้อมูลจากสถานีวัดความเร็วลมต่างๆ ในประเทศอังกฤษ โดยคำนึงถึงสภาพพื้นผิวภูมิประเทศ ซึ่งสามารถนำไปเลือกใช้ในการออกแบบได้ตามอายุการใช้งาน และความเสี่ยงต่างๆ ของโครงสร้าง พร้อมทั้งเสนอวิธีลดความคลาดเคลื่อนของระบบเครื่องมือวัดความเร็วลม และ ใช้กฎยกกำลัง (Power Law) กับความเร็วลมที่ความสูงต่างๆ จนถึงความสูงเกรเดียนต์ (Gradient Height)

ในปี ค.ศ. 1961 Davenport [6] ได้เสนอสมการสเปกตรัมของลมกรรโชกในแนวราบ โดยมีตัวแปรที่สำคัญ คือ ค่าความเร็วลมเฉลี่ย และ ลักษณะพื้นผิวภูมิประเทศ และ ในปีเดียวกันนี้เอง Davenport [7] ได้เสนอวิธีประยุกต์แนวความคิดด้านการสั่นสะเทือนแบบสุ่ม (Random Vibration Theory) เพื่อใช้หาค่าหน่วยแรงลมที่กระทำต่อโครงสร้าง และ หาค่าการตอบสนองทางด้านพลศาสตร์ของโครงสร้างที่มีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 1 โดยสมมติให้ความเร็วลมเป็นตัวแปรสุ่ม และ ไม่ขึ้นอยู่กับเวลาในขบวนการหยุดนิ่ง (Stationary Process) ค่าหน่วยแรงลมที่ได้จะเป็นค่าหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า ซึ่งประกอบด้วยค่าหน่วยแรงลมเฉลี่ย และ ค่าหน่วยแรงลมจากการตอบสนองของโครงสร้างเนื่องจากการกรรโชกของลม และ นำเสนอเป็นค่าตัวประกอบการตอบสนองการกรรโชกของลม (Gust Response Factor) และ ค่าหน่วยแรงลมเฉลี่ย

ในปี ค.ศ. 1964 Davenport [8] ได้ปรับปรุงวิธีการ และ นำเสนอค่าตัวประกอบสูงสุดเนื่องจากลมกรรโชก ว่าอยู่ระหว่าง 3.5 - 4.5 ต่อมาในปี ค.ศ. 1967 Davenport [9] ได้เสนอสมการโดยประมาณเพื่อหาค่าตัวประกอบการตอบสนองการกรรโชกของลมของโครงสร้าง โดยสมมติให้รูปร่างการเคลื่อนที่ของโครงสร้าง (Mode Shape) เป็นเส้นตรง และ คิดผลการตอบสนองของโครงสร้างในโหมดแรกเท่านั้น โดยคำนึงถึงสหสัมพันธ์ของความเร็วลมในแนวราบ และ แนวดิ่ง ในปีต่อมา Vellozzi และ Cohen [10] ได้เสนอ

สมการ และ ดารางรูป เพื่อหาค่าตัวประกอบการตอบสนองการกรรโชกของลม โดยให้ค่าตัวประกอบสูงสุดเนื่องจากลมกรรโชกเท่ากับ 3

ในปี ค.ศ. 1968 Thom [11] ได้เสนอรูปแบบการกระจายของความเร็วลมปลายสุดของข้อมูลความเร็วลมในประเทศสหรัฐอเมริกา ว่าเป็นแบบ Fisher - Tippett ชนิดที่ 2 ซึ่งให้ค่าที่สอดคล้องได้ดีในสภาพภูมิประเทศที่เป็นที่ราบโล่ง ต่อมาในปี ค.ศ. 1973 Simiu [12] ได้เสนอวิธีวิเคราะห์หาค่าตัวประกอบการตอบสนองการกรรโชกของลมของโครงสร้างโดยคิดผลของสหสัมพันธ์ของความเร็วลมระหว่างด้านปะทะลม และ ด้านหลบลมด้วย และ ในปีเดียวกันนี้ Simiu [13] ได้เสนอว่า ควรใช้สมการแบบลอการิทึม สำหรับความเร็วลมที่ความสูงต่างๆ ในปี ค.ศ. 1974 Simiu [14] ได้ใช้สมการสเปกตรัมของลมกรรโชกในแนวราบที่แปรเปลี่ยนตามความสูงหาค่าการตอบสนองของโครงสร้าง ต่อมาในปี ค.ศ. 1976 Simiu [15] ได้เสนอวิธีหาค่าตัวประกอบการตอบสนองการกรรโชกของลมของโครงสร้าง เพื่อใช้ในการออกแบบอาคารสูง โดยเสนอเป็นสมการ และ ตารางรูป ผลที่ได้มีค่าอยู่ระหว่างค่าที่ได้จากข้อกำหนดของ ANSI และ แคนาดา

ในปี ค.ศ. 1976 Simiu และ Filliban [16] ได้เสนอรูปแบบการกระจายของค่าความเร็วลมปลายสุดของสถานีวัดความเร็วลมต่างๆ ในประเทศสหรัฐอเมริกาว่าเป็นแบบ Fisher - Tippett ชนิดที่ 2 โดยการแปรเปลี่ยนค่าระยะปลายสุด ต่างๆ เพื่อให้ได้ค่าที่สอดคล้องกับข้อมูลของแต่ละสถานีมากที่สุด ในปี ค.ศ. 1979 Mehta [17] ได้เสนอผลการเปรียบเทียบมาตรฐาน และ ข้อกำหนดในการออกแบบโครงสร้างเพื่อรับแรงลมของ 4 ประเทศ คือ สหรัฐอเมริกา อังกฤษ ออสเตรเลีย และ แคนาดา ในปี ค.ศ. 1980 Simiu [18] ได้ปรับปรุงวิธีการเพื่อประมาณค่าการตอบสนองของโครงสร้างที่ได้เสนอไว้แล้ว [15] โดยคิดผลการตอบสนองของโครงสร้างในโหมดแรกเท่านั้น และ สมมติให้รูปร่างการเคลื่อนที่ของโครงสร้างเป็นเส้นตรง ปี ค.ศ. 1982 Solari [19] ได้เสนอสมการสำเร็จรูปในการหาค่าตัวประกอบการตอบสนองการกรรโชกของลมของโครงสร้าง และ ในปีเดียวกันนี้ Mutsui Suda และ Higushi [20] ได้ทำการวัดค่าหน่วยแรงลมที่กระทำต่ออาคารรูปสี่เหลี่ยมสูง 18 ชั้น ในเมืองโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น พบว่ารูปแบบการกระจายของความเร็วลมที่วัดได้

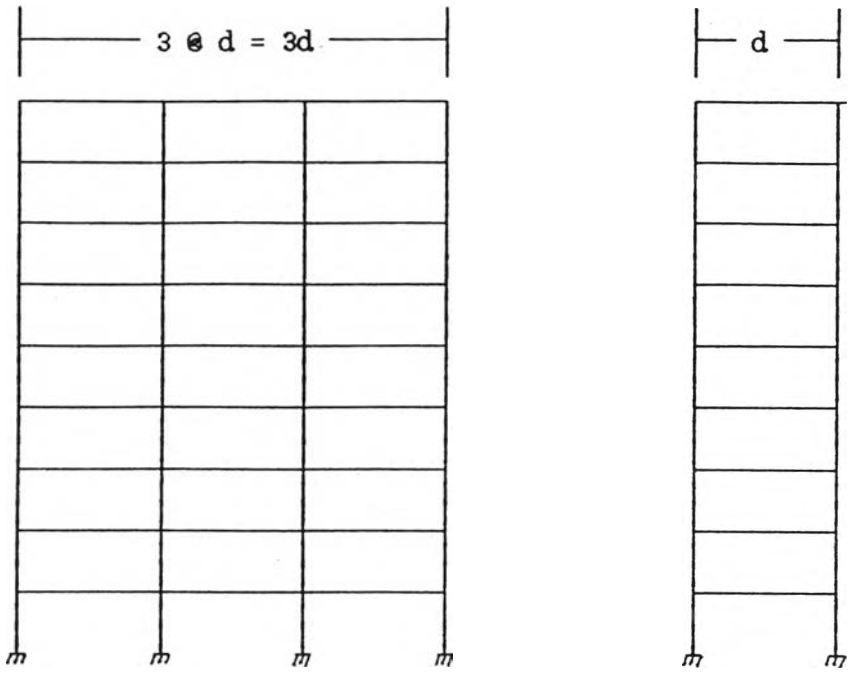
สอดคล้องกับการกระจายแบบปกติ และ ในปี ค.ศ. 1987 คณะกรรมการของ ASCE ทางด้านแรงลม และ พลศาสตร์ [21] ได้เสนอสมการสำเร็จรูปเพื่อหาหน่วยแรงลมที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคารสูง โดยคำนึงถึงผลการตอบสนองของโครงสร้างทางด้านพลศาสตร์ด้วย

สำหรับงานวิจัยในเมืองไทยนั้น ในปี ค.ศ. 1972 Prapaitakul, N. [22] ได้ทำการประยุกต์ทฤษฎีของ Davenport [23] ศึกษาหาค่าหน่วยแรงลมที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างในเขตกรุงเทพฯ โดยสมมติให้ข้อมูลความเร็วลมสูงสุดในแต่ละปีมีการกระจายเป็นแบบปกติ และ ใช้กับโครงสร้างที่สูงไม่เกิน 300 ฟุต ต่อมา Karasudhi, P. และ คณะ [24] ได้ใช้วิธีที่คล้ายกับ [22] แต่ประยุกต์ทฤษฎีค่าปลายสุดในการคาดคะเนค่าความเร็วลมออกแบบ เป็นที่น่าสังเกตว่า ข้อกำหนดทางด้านการออกแบบโครงสร้างเพื่อรับแรงลมในข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ. 2522 มีรูปแบบคล้ายกับที่เสนอใน [22]

จะเห็นได้ว่า งานวิจัยต่างๆ ที่ผ่านมา จะเกี่ยวข้องกับรูปแบบการกระจายของค่าความเร็วลมปลายสุด ลักษณะการกระจายของความเร็วลมตามความสูง และ วิธีวิเคราะห์การตอบสนองของโครงสร้างทางด้านพลศาสตร์ ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะต้องอาศัยความรู้พื้นฐานทางด้านอากาศพลศาสตร์ และ ทฤษฎีค่าปลายสุด เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ด้วย สำหรับงานวิจัยนี้ ได้ใช้แนวทางของ Solari [19] และ คณะกรรมการของ ASCE [21] เนื่องจากเป็นวิธีวิเคราะห์ที่ใช้วิทยาการใหม่ โดยคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ค่อนข้างครบถ้วน และ เป็นจริง และเป็นวิธีที่สามารถทำได้ง่าย แต่ให้ค่าที่ถูกต้องเพียงพอในทางปฏิบัติ

ตารางที่ (1.1) ค่าหน่วยแรงลมที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างตามข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ. 2522 [1]

ความสูงของโครงสร้าง, z (เมตร)	หน่วยแรงลมที่ใช้ในการออกแบบ (กก./ตร.ม.)
$z \leq 10$	50
$10 < z \leq 20$	80
$20 < z \leq 40$	120
$z > 40$	160



ก. ข.

รูปที่ (1-1) โครงสร้างเปรียบเทียบ