บทที่ 3

การวิเคราะห์และผลการวิเคราะห์หน่วยแรงลม

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะทำการศึกษาผลลักษณะสมบัติด้านพลศาสตร์ (Dynamics Characteristics) ของโครงสร้างที่มีผลต่อหน่วยแรงลม เพื่อนำไปสู่การสร้างสูตรอย่างง่าย สำหรับการคำนวณหน่วยแรงลมที่กระทำกับอาคาร

3.2 ข้อมูล ลักษณะอาคารและวิธีการที่ใช้หาค่าหน่วยแรงลม

ข้อมูลที่ใช้สำหรับหาค่าหน่วยแรงลม เพื่อเสนอสูตรอย่างง่ายมีดังนี้

ก.ค่าหน่วยแรงลมคำนวณตามมาตรฐาน NBC 1990 ของประเทศแคนาดา (NBC 1990) สำหรับอาคารความสูงปานกลาง โดยพิจารณาทั้งวิธีการละเอียดและวิธีการอย่างง่าย

ข.ค่าความเร็วลมที่ใช้ในการออกแบบ ใช้ความเร็วลมที่ระดับความสูง 10 เมตรจากพื้นดิน ในลักษณะภูมิประเทศเปิดโล่ง ดังแสดงในรูปที่ ก-2 (Mikitiuk et al. 1995)

ค.อาคารที่พิจารณาเป็นอาคารที่มีแปลนเป็นสี่เหลี่ยม ที่มีความสูงปานกลางและไม่มีผลด้านพลศาสตร์มากนัก ซึ่งได้แก่ อาคารที่มีความสูงไม่เกิน 120 เมตร ($H \leq 120$ ม.) และมีอัตราส่วน H/W น้อยกว่า 4

ง.พิจารณาแรงลมในทิศทางกระทำตั้งฉากกับผิวของอาคาร

3.3 การศึกษาผลของตัวแปรที่มีต่อหน่วยแรงลม

ในการศึกษาเพื่อเสนอสูตรอย่างง่าย สำหรับการคำนวณหน่วยแรงลมนั้นจะศึกษาตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อหน่วยแรงลมที่สำคัญ ได้แก่ ลักษณะสมบัติด้านพลศาสตร์ของโครงสร้างอันได้แก่ คาบเวลาการสั่นตามธรรมชาติของอาคาร อัตราส่วนความหน่วงและความชะลูดของอาคาร

รวมทั้งผลของความเร็วลมอ้างอิงและผลความสำคัญของอาคารที่มีต่อหน่วยแรงลม ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.1 ผลของคาบเวลาการสั่นตามธรรมชาติ

อาคารที่มีคาบเวลาการสั่นตามธรรมชาติยาว เป็นอาคารที่อ่อนและจะมีผลในการตอบสนองของโครงสร้างเมื่อรับแรงลมมาก คาบเวลาการสั่นตามธรรมชาติจึงเป็นตัวแปรสำคัญที่จะต้องทำการพิจารณา Jeary และ Ellis (1983) ได้ประมาณคาบเวลาการสั่นตามธรรมชาติของอาคารที่มีแปลนเป็นสี่เหลี่ยมเท่ากับ H/46 วินาที ซึ่งค่านี้ถูกนำไปใช้ในมาตรฐานออสเตรเลีย (AS 1170.2-1989) เพื่อที่จะให้ครอบคลุมลักษณะของอาคารจริงในทางปฏิบัติ ซึ่งอาจจะมีค่าคาบเวลาการสั่นตามธรรมชาติมากกว่า หรือน้อยกว่า H/46 วินาที (ขึ้นอยู่กับการออกแบบ) ในงานวิจัยนี้จึงพิจารณาคาบเวลาการสั่นตามธรรมชาติของอาคาร ในช่วง H/60 ถึง H/30 วินาที

อัตราส่วนความหน่วงที่เลือกใช้ในการวิเคราะห์ชุดแรกนี้ ได้พิจารณาค่าที่แนะนำโดยมาตรฐาน NBC 1990 และ AS 1170.2-1989 กล่าวคือ ตามมาตรฐาน NBC 1990 จะใช้ค่าอัตราส่วนความหน่วง 1 % สำหรับโครงสร้างเหล็ก และ 2 % สำหรับโครงสร้างคอนกรีต ส่วนมาตรฐาน AS 1170.2-1989 จะใช้ค่าอัตราส่วนความหน่วงระหว่าง 0.5-1 % สำหรับโครงสร้างเหล็ก และโครงสร้างคอนกรีตหรือคอนกรีตอัดแรง ดังนั้นในการวิเคราะห์นี้ จึงใช้ค่าอัตราส่วนความหน่วง 1.5 % ซึ่งเป็นค่าระหว่าง NBC 1990 กับ AS 1170.2-1989

อาคารที่พิจารณาในชุดแรกนี้ เป็นอาคารที่มีระดับความสูงต่าง ๆ ตั้งแต่ 20 , 25 , 30 ไปจนถึง 120 เมตร ความชะลูดเท่ากับ 4 ตั้งอยู่ในเขตที่มีความเร็วลมพื้นฐานเท่ากับ 24.9 เมตร/วินาที ลักษณะภูมิประเทศจะพิจารณาทั้งแบบ A, B และ C

ผลการวิเคราะห์ที่ได้ ดังแสดงในตารางที่ ก-1 ถึง ก-9 ในภาคผนวก ก และกราฟระหว่างหน่วยแรงลมกับความสูงของอาคาร ดังรูปที่ ก-3 ถึง ก-11 จะสังเกตเห็นว่า สำหรับ T=H/30 วินาที ในลักษณะภูมิประเทศแบบ A, B และ C แถบช่วงกราฟจะอยู่ห่างกันระหว่าง 6-17 % และเส้นของอาคารสูง 120 เมตร จะให้ค่าหน่วยแรงลมมากกว่าทุกเส้นทุกระดับชั้นความสูง จึงนำเส้นของอาคารสูง 120 เมตร มาพิจารณา สำหรับ T=H/46 และ H/60 วินาที แถบช่วงกราฟก็ยิ่งแคบเข้ามาอยู่ระหว่าง 0.5-6 % แต่ไม่มีเส้นของอาคารไหนครอบคลุม จึงทำการหาเส้นกราฟที่เหมาะสมขึ้นมาใหม่ โดยให้ครอบคลุมทุกระดับชั้นความสูง ซึ่งถือเป็นเส้นขอบเขตบน (Upper Bound Curve) เส้นกราฟที่เป็นเส้นขอบเขตบนนี้ แสดงในรูปที่ 3-1 ถึง 3-3 พบว่าค่าหน่วยแรงลมจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อคาบเวลาการสั่นตามธรรมชาติมีค่าเพิ่มขึ้น และแถบช่วงกราฟในลักษณะภูมิประเทศแบบ A, B และ C อยู่ระหว่าง 10-17 % ซึ่งเป็นช่วงที่แคบและทำการเสนอ

เส้นกราฟ โดยใช้ค่าเฉลี่ยระหว่างเส้น T=H/30 และ H/60 วินาที พบว่าเส้นกราฟเฉลี่ยที่ได้จะให้ค่ามากกว่าเส้น T=H/46 วินาที ประมาณ 2-6 % ในทุกลักษณะภูมิประเทศ

สำหรับวิธีการอย่างง่ายนั้น ได้แสดงผลการวิเคราะห์ในตารางที่ ก-10 และหน่วยแรงลมกับความสูงแสดงเป็นกราฟ ในรูปที่ ก-12 พบว่า เส้นของความสูง 120 เมตร จะเป็นเส้นครอบคลุมทุกระดับความสูง ถือเป็นเส้นขอบเขตบน เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าหน่วยแรงลมที่ได้จากวิธีการอย่างง่าย และวิธีการละเอียด ดังแสดงในรูปที่ 3-4 ถึง 3-6 จะพบว่า ในลักษณะภูมิประเทศแบบ A เมื่อคำนวณโดยวิธีการอย่างง่าย จะได้ค่าหน่วยแรงลมน้อยไป เมื่อเทียบกับแถบช่วงกราฟที่เสนอ (T=H/30 และ T=H/60) สำหรับอาคารที่มีความอ่อนตัว (Flexibility) พอสมควรในส่วนที่พิจารณา (T=H/60) ค่าหน่วยแรงลมที่ได้จะมากกว่าเส้นกราฟจากวิธีการอย่างง่ายประมาณ 0.5-6.5 % สำหรับอาคารสูงปานกลางที่มีความอ่อนตัวมาก ค่าหน่วยแรงลมที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีการอย่างง่ายจะมีค่าน้อยไปประมาณ 13-22% (ขึ้นอยู่กับคาบเวลาการสั่นตามธรรมชาติของอาคาร) จึงต้องระมัดระวังในการใช้วิธีการอย่างง่าย ในลักษณะภูมิประเทศแบบ A สำหรับลักษณะภูมิประเทศแบบ B ถ้าคำนวณโดยวิธีการอย่างง่าย จะให้ค่าหน่วยแรงลมที่สูงกว่าประมาณ 15-41 % และ 0-29 % สำหรับอาคารที่มีความอ่อนตัวพอสมควรและอาคารที่มีความอ่อนตัวมาก ตามลำดับ ส่วนลักษณะภูมิประเทศแบบ C ถ้าคำนวณโดยวิธีการอย่างง่าย จะให้ค่าหน่วยแรงลมที่สูงกว่าประมาณ 33-55 % และ 21-49 % สำหรับอาคารที่มีความอ่อนตัวพอสมควรและอาคารที่มีความอ่อนตัวมาก ตามลำดับ ในลักษณะภูมิประเทศแบบ B และ C ในวิธีการอย่างง่ายจะให้ค่าหน่วยแรงลมที่สูงไป ซึ่งในการนำไปใช้จะปลอดภัย แต่จะทำให้สิ้นเปลืองกว่าวิธีการละเอียด

3.3.2 ผลของอัตราส่วนความหน่วง

พิจารณาอาคารที่มีความสูง 30, 60, 90 และ 120 เมตร ทำการคำนวณหน่วยแรงลมโดยวิธีการละเอียดที่ลักษณะภูมิประเทศแบบ A, B และ C ความเร็วลมพื้นฐาน 24.9 เมตร/วินาที ความชะลูดเท่ากับ 4 คาบเวลาการสั่นตามธรรมชาติของอาคารเท่ากับ H/46 วินาที โดยแปรเปลี่ยนอัตราส่วนความหน่วงเป็น 0.5, 1, 1.5 และ 2 % ตามลำดับ ผลที่ได้แสดงในตารางที่ ก-11 ถึง ก-13 สำหรับค่า C_g และ รูปที่ ก-13 ถึง ก-15 ซึ่งแสดงค่าหน่วยแรงลมกับความสูง จะเห็นว่าเมื่อค่าอัตราส่วนความหน่วงเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้ค่าหน่วยแรงลมลดลง เมื่อพิจารณาค่า C_g ดังแสดงในรูปที่ ก-16 ถึง ก-18 ซึ่งเป็นอัตราส่วนของ C_g ที่อัตราส่วนความหน่วงใด ๆ เทียบกับ C_g ที่อัตราส่วนความหน่วง 1.5 % พบว่าค่า C_g จะมีค่าเพิ่มขึ้นแบบไม่เป็นเชิงเส้น เมื่อค่าอัตราส่วนความหน่วงลดลงและค่า C_g จะเปลี่ยนไปด้วยอัตราเร็ว เมื่อค่าอัตราส่วนความหน่วงน้อยกว่า 1 แถบช่วงกราฟแสดงค่า C_g ในแต่ละลักษณะภูมิประเทศ จะมีค่าเปลี่ยนแปลงระหว่าง 2-30 % ซึ่งจะทำให้ค่าหน่วยแรงลมมีแถบช่วงกราฟดังกล่าวด้วย จึงใช้เส้นกราฟเฉลี่ยแทนในแต่ละ

ลักษณะภูมิประเทศ ดังแสดงในรูปที่ 3-7 ซึ่งแถบช่วงกราฟจะอยู่ระหว่าง 18-20 % จึงเสนอเส้นเฉลี่ยแทนในทุกลักษณะภูมิประเทศ ซึ่งพบว่า

เมื่อค่าอัตราส่วนความหน่วงเปลี่ยนจาก 1.5% เป็น 0.5% ค่า C_g จะเพิ่มขึ้นประมาณ 15% มีผลทำให้ค่าหน่วยแรงลมเพิ่มขึ้น 15% ด้วย

เมื่อค่าอัตราส่วนความหน่วงเปลี่ยนจาก 1.5% เป็น 1% ค่า C_g จะเพิ่มขึ้นประมาณ 5% มีผลทำให้ค่าหน่วยแรงลมเพิ่มขึ้น 5% ด้วย

3.3.3 ผลของความชะลูด

พิจารณาอาคารที่มีความสูง 30, 60, 90 และ 120 เมตร ทำการคำนวณค่า C_g โดยวิธีการละเอียดที่ลักษณะภูมิประเทศแบบ A, B และ C ความเร็วลมพื้นฐาน 24.9 เมตร/วินาที คาบเวลาการสั่นตามธรรมชาติของอาคารเท่ากับ H/46 วินาที ค่าอัตราส่วนความหน่วง 1.5% โดยแปรเปลี่ยนความชะลูดเป็น 4, 6 และ 8 ตามลำดับ ผลที่ได้แสดงในตารางที่ ก-14 ถึง ก-16 จะเห็นว่า อาคารที่ตั้งอยู่ในลักษณะภูมิประเทศเดียวกัน ความสูงเท่ากัน ค่า C_g จะเพิ่มขึ้นแบบเป็นเชิงเส้น ซึ่งจะเปลี่ยนไปด้วยอัตราคงที่

เมื่อความชะลูดเปลี่ยนจาก 4 เป็น 6 ค่า C_g จะเพิ่มขึ้นประมาณ 5% และเมื่อความชะลูดเปลี่ยนจาก 4 เป็น 8 ค่า C_g จะเพิ่มขึ้นประมาณ 10% หน่วยแรงลมก็จะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราส่วนเดียวกัน

3.3.4 ผลของความเร็วลม

ในการพิจารณาผลของความเร็วลม จะพิจารณาความเร็วลมที่ 24.9 เมตร/วินาที และ 28.2 เมตร/วินาที (ดูแผนที่ความเร็วลม รูปที่ ก-2) โดยจะพิจารณาที่คาบเวลาการสั่นตามธรรมชาติของอาคารเท่ากับ H/46 วินาที อัตราส่วนความหน่วง 1.5% และความชะลูดเท่ากับ 4 ลักษณะภูมิประเทศจะพิจารณาทั้งแบบ A, B และ C จากผลการคำนวณที่แสดงในตารางที่ ก-4 ถึง ก-6 และตารางที่ ก-17 ถึง ก-19 พบว่า เมื่อความเร็วเปลี่ยนจาก 24.9 เมตร/วินาที เป็น 28.2 เมตร/วินาที จะมีผลทำให้หน่วยแรงลมเพิ่มขึ้นตามกำลังสองของความเร็วลม ประมาณ 28 % และเพิ่มเนื่องจากค่า C_g ที่เพิ่มขึ้นตามความเร็วลมอีกประมาณ 5%

3.3.5 ผลของความสำคัญของอาคาร

สำหรับอาคารทั่วไป จะออกแบบสำหรับความเร็วลมที่คาบเวลากลับ 30 ปี ส่วนอาคารสาธารณะ หรืออาคารที่มีความสำคัญเป็นพิเศษ จะต้องออกแบบสำหรับความเร็วลมที่คาบเวลากลับประมาณ 100 ปี จากตารางความสัมพันธ์ของความเร็วลมที่คาบเวลากลับ T เทียบกับคาบเวลากลับ 50 ปี (Mikitiuk et. al. 1995) พบว่า ที่คาบเวลากลับ 30 ปี ความเร็วลม 24.9 เมตร/วินาที และ 28.2 เมตร/วินาที จะเปลี่ยนเป็น 28.6 เมตร/วินาที และ 32.4 เมตร/วินาที ที่คาบเวลากลับ 100 ปี ตามลำดับ พบว่า หน่วยแรงลมเพิ่มขึ้นราว 33% ซึ่งเป็นผลที่เพิ่มขึ้นตามกำลังสองของความเร็วลม ประมาณ 28% และค่า C_g เพิ่มตามความเร็วลมที่เพิ่มประมาณ 5%

3.4 การพิจารณาหน่วยแรงลมสำหรับอาคารเตี้ย

สำหรับอาคารเตี้ยที่มีความสูงของอาคารไม่เกิน 20 เมตร และความชะลูดมากกว่า 1 แต่ไม่เกิน 4 ดังแสดงในรูปที่ ก-1 ให้ใช้ค่าหน่วยแรงลมตามลักษณะภูมิประเทศแบบ A เท่านั้น ส่วนอาคารเตี้ยที่ความชะลูดไม่เกิน 1 จะคำนวณค่าหน่วยแรงลมโดยวิธีการอย่างง่าย ที่ความสูงอาคาร 20 เมตร รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3-2

3.5 สูตรอย่างง่ายสำหรับการคำนวณหน่วยแรงลม

ในการศึกษาค่าหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า โดยอาศัยข้อกำหนดในการคำนวณแรงลมตามมาตรฐาน NBC 1990 ของประเทศแคนาดา ซึ่งได้ทำการหาค่าหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าของอาคารที่ระดับความสูงต่างๆ เพื่อที่จะทำการศึกษาและเสนอวิธีการที่ง่าย คล้ายคลึงกับวิธีการที่ใช้ในกฎกระทรวงฯ สำหรับค่าหน่วยแรงลมที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย มีรายละเอียดดังนี้

$$p = \bar{p}\, Z\, T\, I\, D\, R \qquad (3\text{-}1)$$

โดยที่ p = หน่วยแรงดันลมสถิตเทียบเท่าที่ระดับที่พิจารณากระทำกับพื้นที่ฉายตั้งฉากกับแนวแรงลม (รวมผลแรงดันและแรงดูด)

$\bar{p}$ = หน่วยแรงดันลมสถิตเทียบเท่าอ้างอิง สำหรับความเร็วลมพื้นฐาน V=24.9 เมตร/วินาที = ค่าในตารางที่ 3-1 สำหรับโครงสร้างที่มีความชะลูดระหว่าง 1 ถึง 4 ความสูงไม่เกิน 120 เมตร (1($H/W \le 4$ และ $H \le 120$ เมตร) ในกรณีที่ความสูงไม่เกิน 20 เมตร

ให้ใช้ค่าหน่วยแรงลม ในลักษณะภูมิประเทศแบบ A เท่านั้น

= ค่าในตารางที่ 3-2 สำหรับโครงสร้างที่มีความชะลูดไม่เกิน 1 และความสูงไม่เกิน 20 เมตร ($H/W \leq 1$ และ $H \leq 20$ เมตร)

Z = ตัวประกอบปรับแก้สำหรับเขตความเร็วลมต่างๆ

= 1.00 สำหรับเขตที่มีความเร็วลมพื้นฐาน V เท่ากับ 24.9 เมตร/วินาที

= 1.33 สำหรับเขตที่มีความเร็วลมพื้นฐาน V เท่ากับ 28.2 เมตร/วินาที

T = ตัวประกอบปรับแก้สำหรับอิทธิพลของพายุไต้ฝุ่น

= 1.70 สำหรับเขตที่ได้รับอิทธิพลพายุไต้ฝุ่น ในกรณีที่ใช้ตัวคูณน้ำหนัก 2.0 สำหรับแรงลม

= 1.90 สำหรับเขตที่ได้รับอิทธิพลพายุไต้ฝุ่น ในกรณีที่ใช้ตัวคูณน้ำหนัก 1.8 สำหรับแรงลม

= 2.00 สำหรับเขตที่ได้รับอิทธิพลพายุไต้ฝุ่น ในกรณีที่ใช้ตัวคูณน้ำหนัก 1.7 สำหรับแรงลม

I = ตัวประกอบความสำคัญ (Importance Factor)

= 1.00 สำหรับอาคารทั่วไป

= 1.33 สำหรับอาคารสาธารณะเช่นโรงพยาบาล โรงเรียน สถานีดับเพลิง อาคารบรรเทาสาธารณภัย โรงไฟฟ้า ชุมสายโทรศัพท์ หรืออาคารที่มีความสำคัญเป็นพิเศษ อาคารเหล่านี้ มีค่าเท่ากับถูกออกแบบสำหรับความเร็วลมซึ่งมีคาบเวลากลับ 100 ปี

ในกรณีที่พิจารณาผลของพายุไต้ฝุ่นให้ใช้ I = 1.00

D= ตัวประกอบปรับแก้สำหรับผลของอัตราส่วนความหน่วง

= 1.00 สำหรับโครงสร้างที่มีอัตราส่วนความหน่วง 1.5%

= 1.05 สำหรับโครงสร้างที่มีอัตราส่วนความหน่วง 1.0%

= 1.15 สำหรับโครงสร้างที่มีอัตราส่วนความหน่วง 0.5%

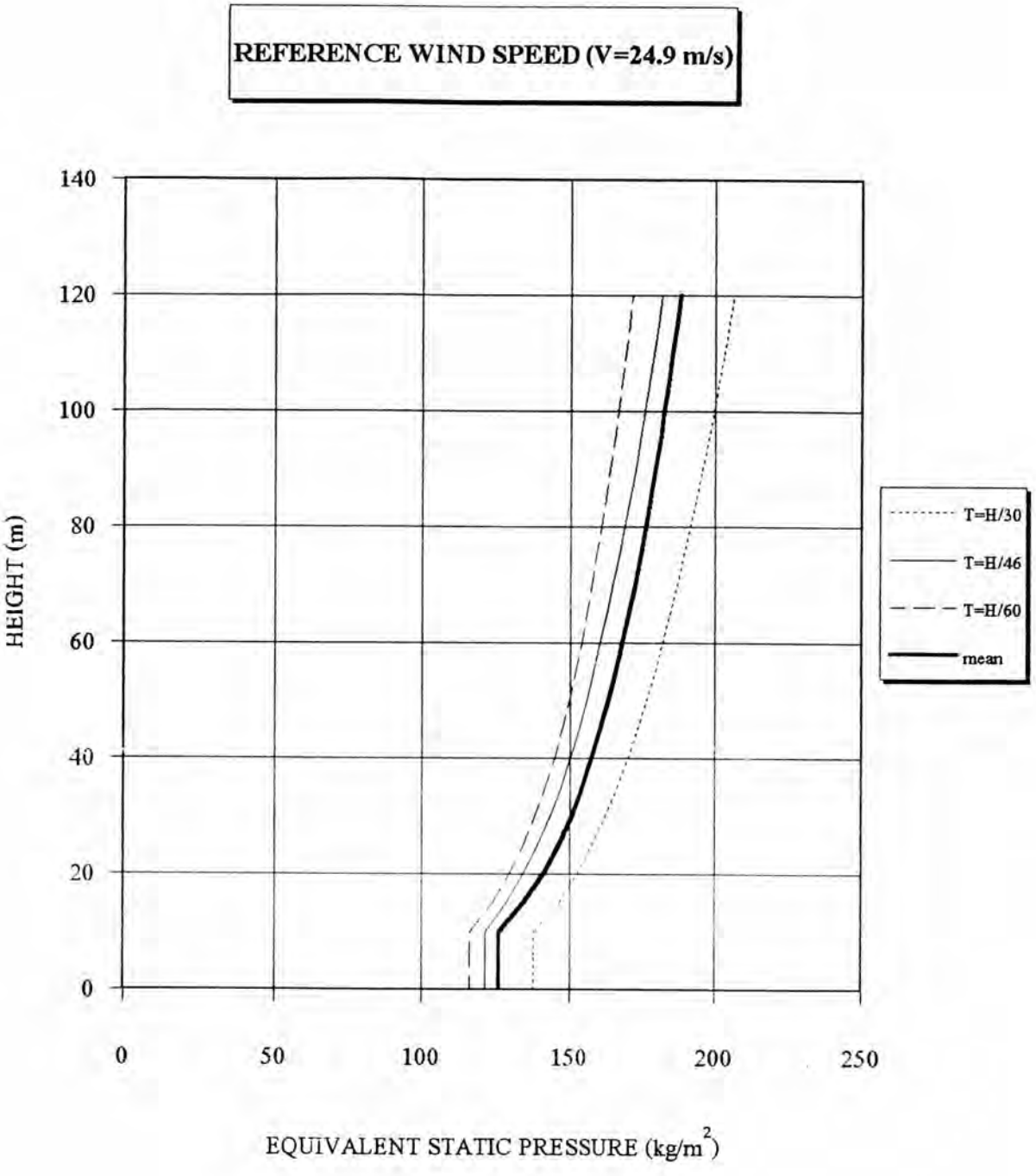
= สำหรับอัตราส่วนความหน่วงอื่น ๆ ให้อ่านจากกราฟรูปที่ 3-8

R = ตัวประกอบปรับแก้สำหรับความชะลูดของอาคาร

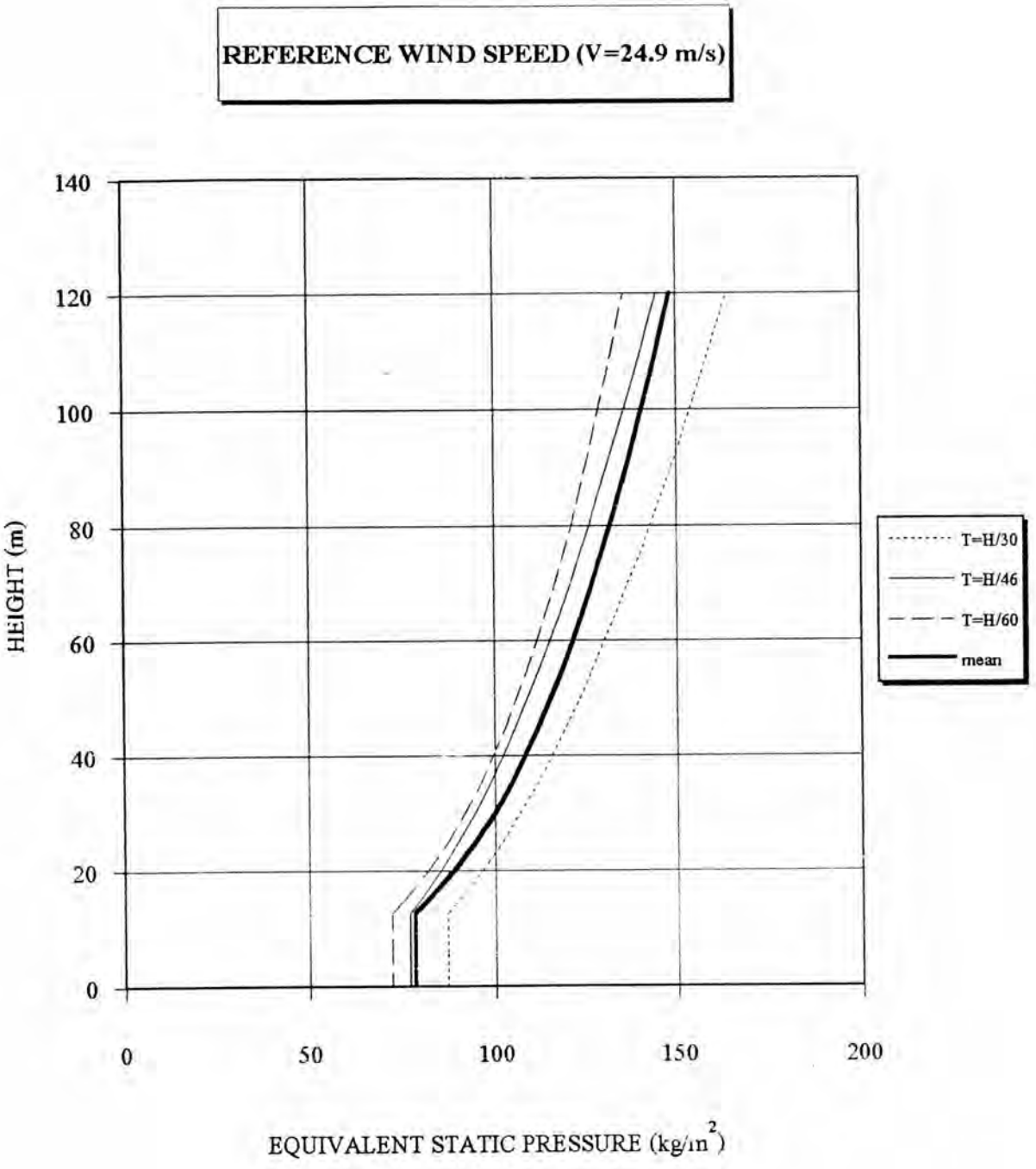
= 1.00 สำหรับอาคารที่มีอัตราส่วน $H/W \leq 4$

= 1.05 สำหรับอาคารที่มีอัตราส่วน $H/W = 6$

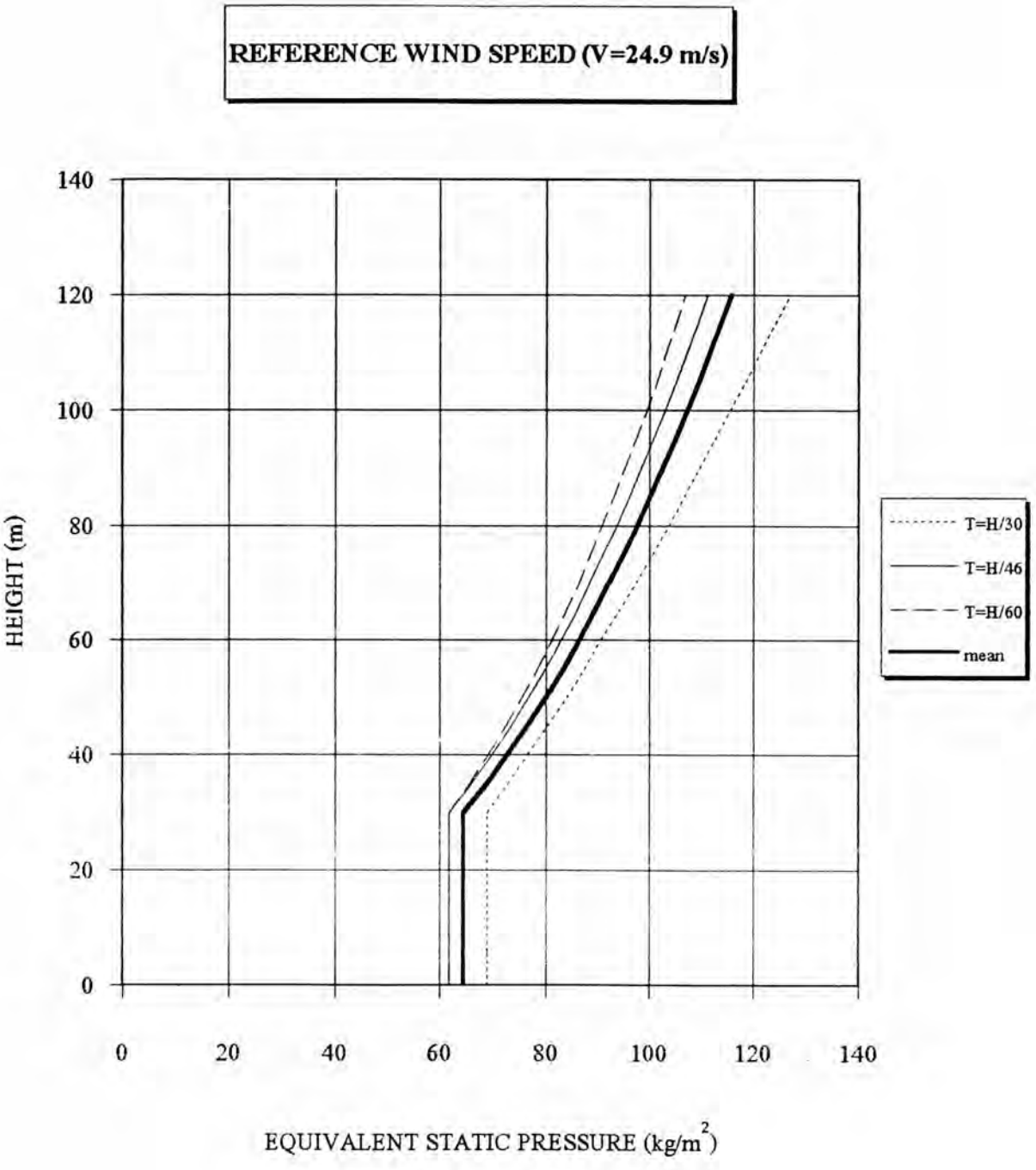
= 1.10 สำหรับอาคารที่มีอัตราส่วน $H/W = 8$



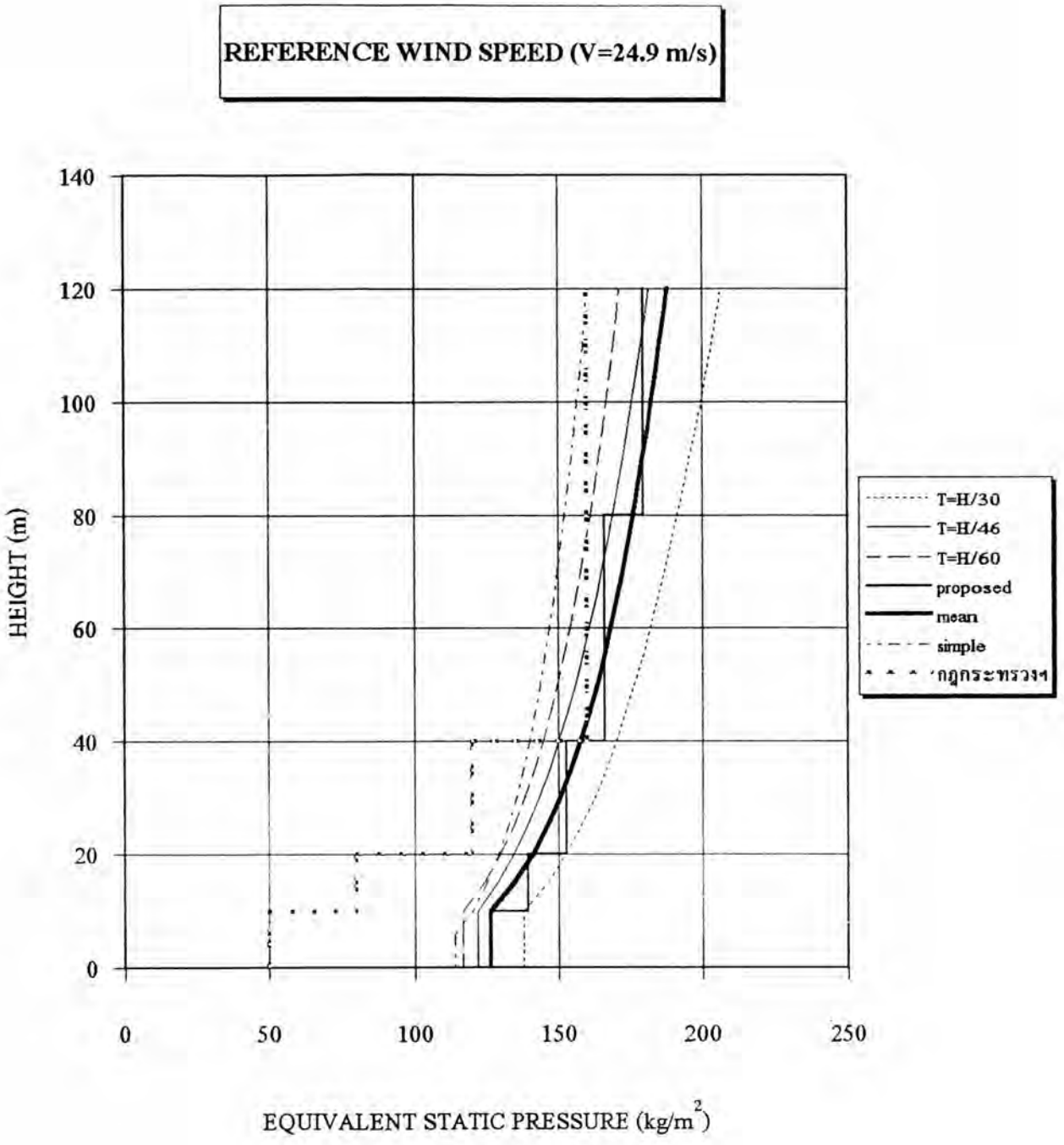
รูปที่ 3-1 ค่าหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า ตามวิธี NBC 1990 สำหรับ T=H/30 และ H/60 วินาที และค่าเฉลี่ยเพื่อเสนอค่าหน่วยแรงลม สำหรับลักษณะภูมิประเทศแบบ A
(อัตราส่วนความหน่วงเท่ากับ 1.5% H/W=4)



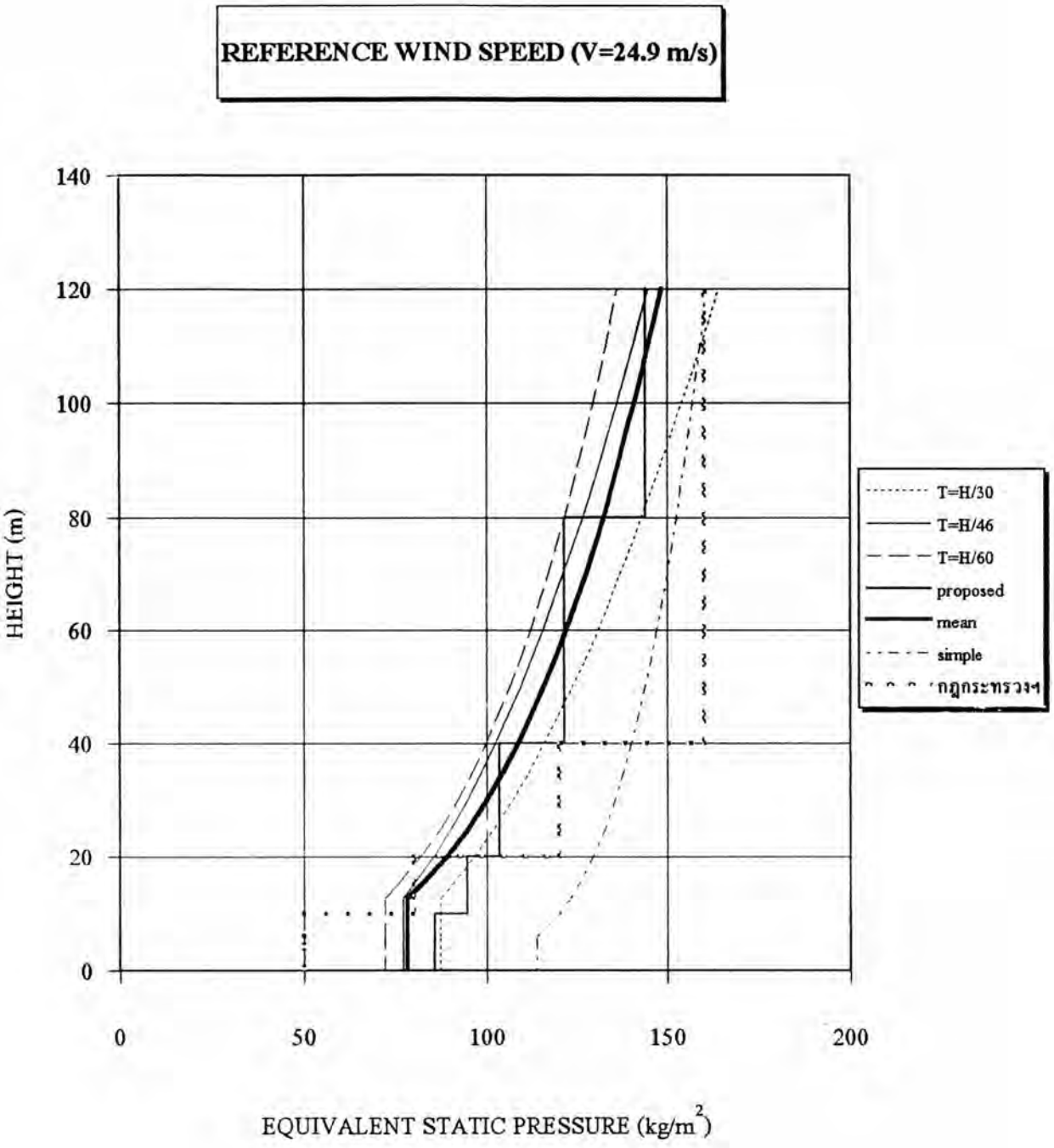
รูปที่ 3-2 ค่าหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า ตามวิธี NBC 1990 สำหรับ T=H/30 และ H/60 วินาที และค่าเฉลี่ยเพื่อเสนอค่าหน่วยแรงลม สำหรับลักษณะภูมิประเทศแบบ B (อัตราส่วนความหน่วงเท่ากับ 1.5% H/W=4)



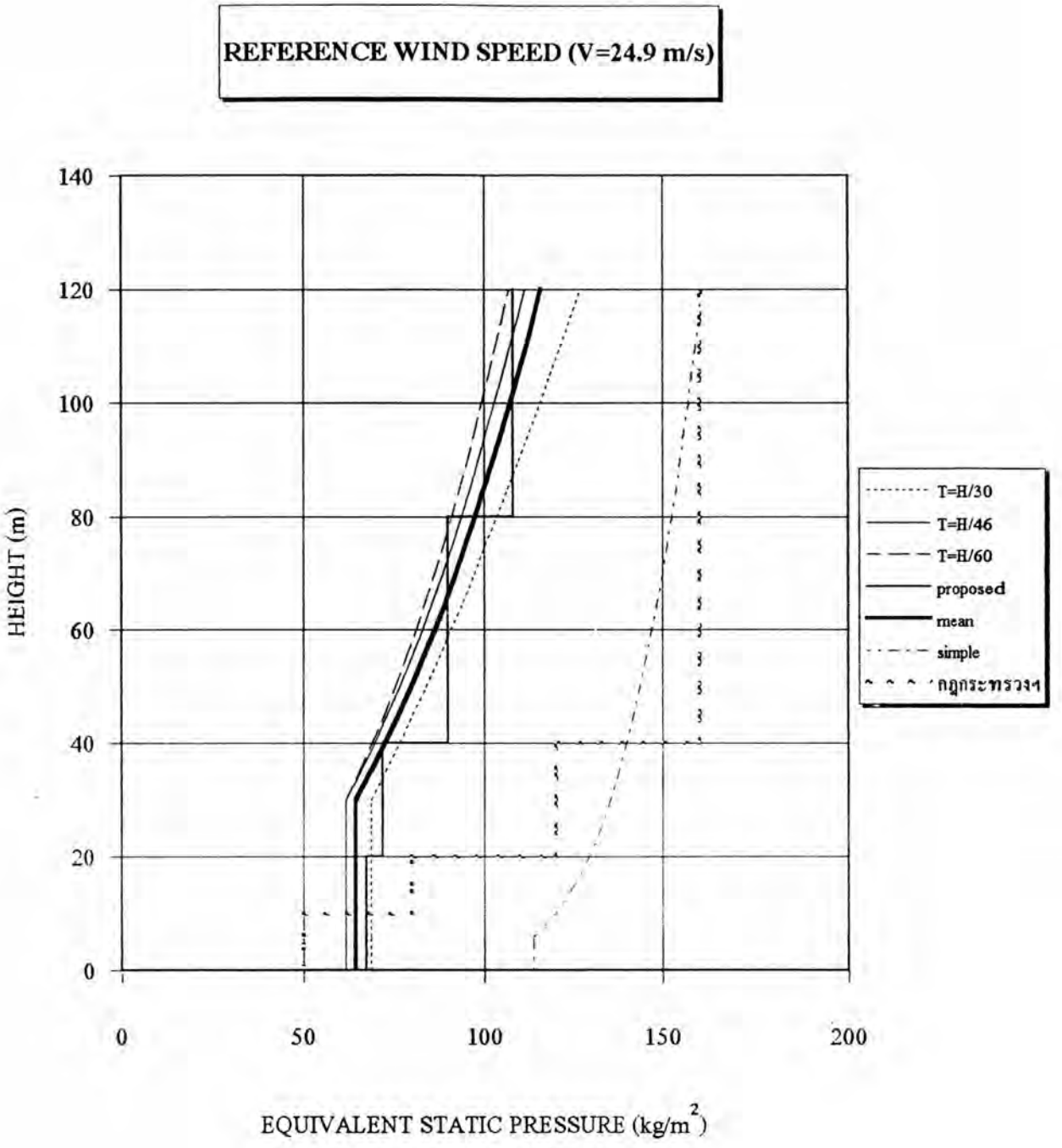
รูปที่ 3-3 ค่าหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า ตามวิธี NBC 1990 สำหรับ T=H/30 และ H/60 วินาที และค่าเฉลี่ยเพื่อเสนอค่าหน่วยแรงลม สำหรับลักษณะภูมิประเทศแบบ C (อัตราส่วนความหน่วงเท่ากับ 1.5% H/W=4)



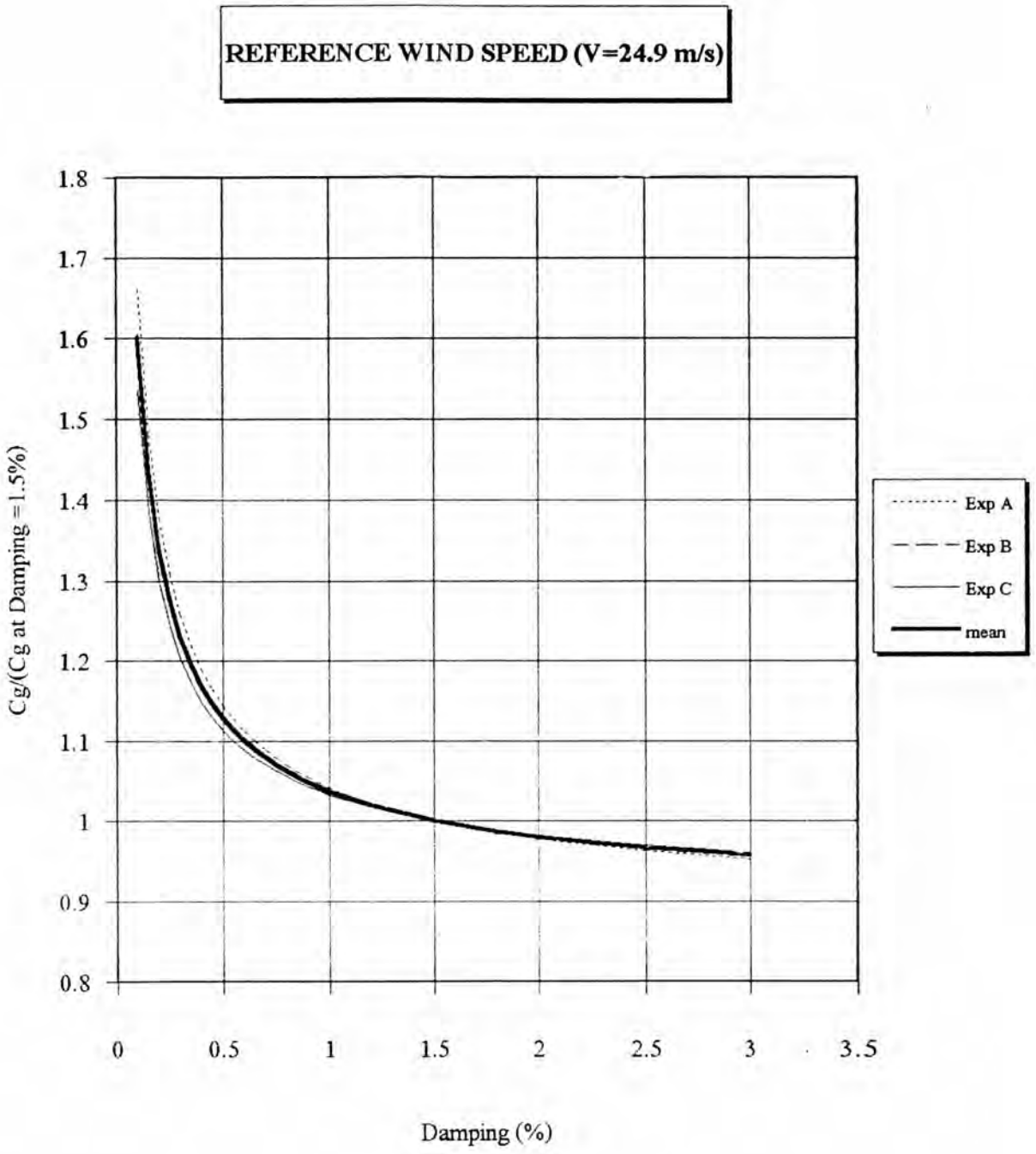
รูปที่ 3-4 ค่าหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าอ้างอิงที่เสนอ สำหรับลักษณะภูมิประเทศแบบ A
(อัตราส่วนความหน่วงเท่ากับ 1.5% H/W=4)



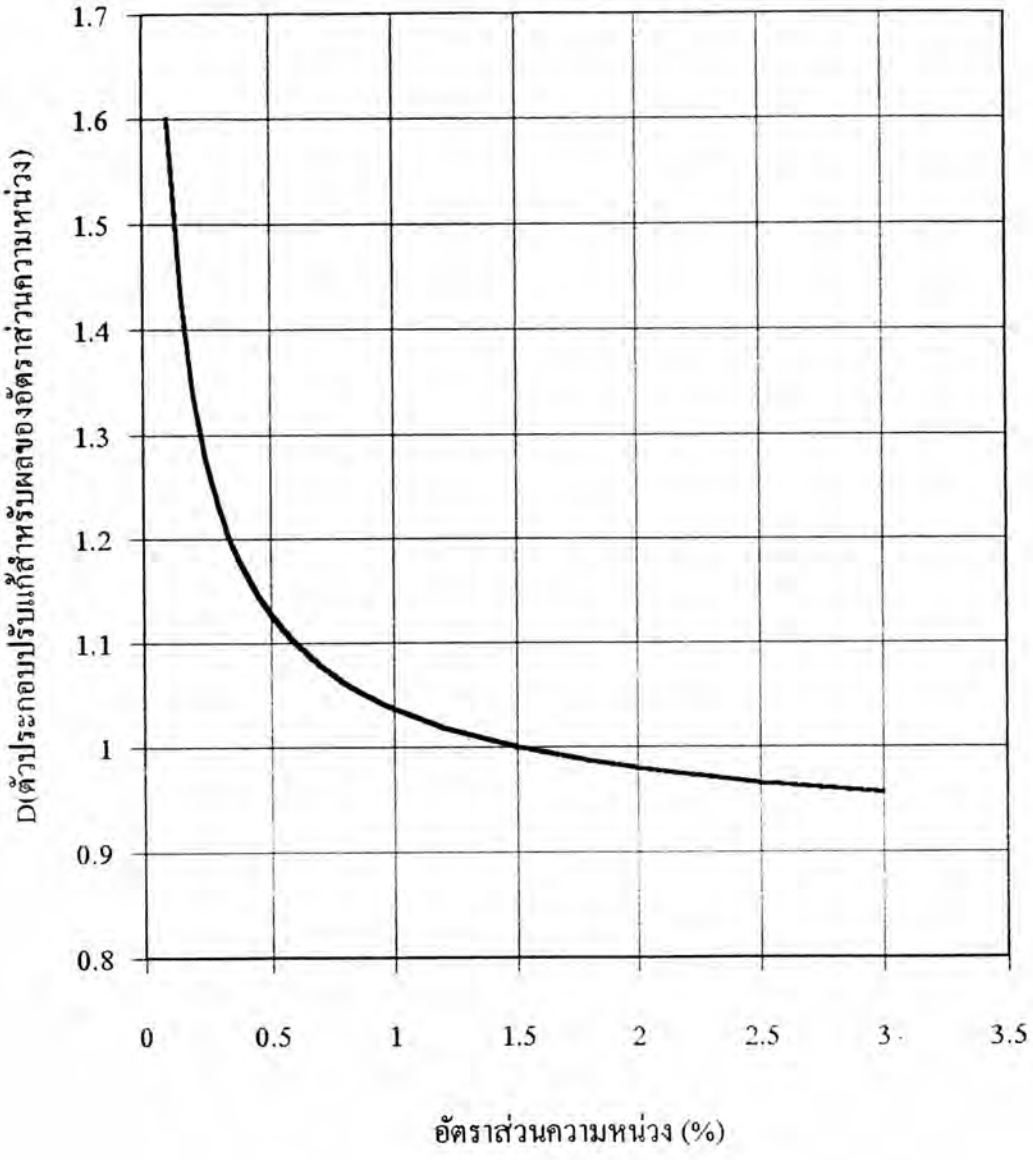
รูปที่ 3-5 ค่าหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าอ้างอิงที่เสนอ สำหรับลักษณะภูมิประเทศแบบ B
(อัตราส่วนความหน่วงเท่ากับ 1.5% H/W=4)



รูปที่ 3-6 ค่าหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าอ้างอิงที่เสนอ สำหรับลักษณะภูมิประเทศแบบ C
(อัตราส่วนความหน่วงเท่ากับ 1.5% H/W=4)



รูปที่ 3-7 ค่า Cg เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนความหน่วง โดยเปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนความหน่วง 1.5% ลักษณะภูมิประเทศแบบต่าง ๆ (T=H/46 วินาที H/W=4)

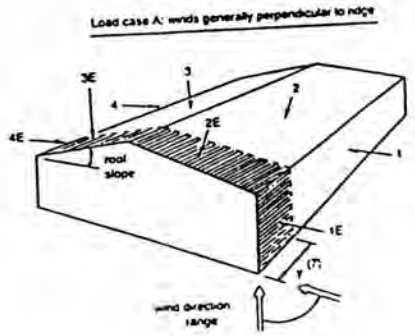


รูปที่ 3-8 ตัวประกอบปรับแก้สำหรับผลของอัตราส่วนความหน่วงของโครงสร้าง

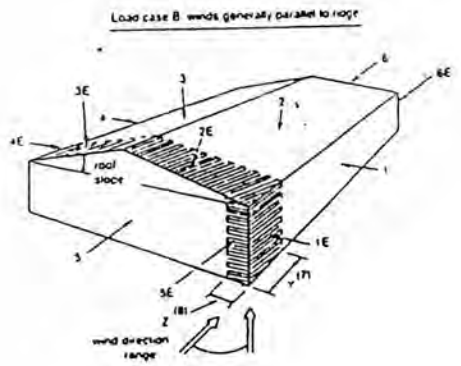
ตารางที่ 3-1 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดันลมสถิตเทียบเท่าอ้างอิงกับลักษณะภูมิประเทศ

ความสูง (ม.)	หน่วยแรงลมอ้างอิง (กก./ตร.ม.)		
	ภูมิประเทศแบบ A	ภูมิประเทศแบบ B	ภูมิประเทศแบบ C
0-10	126.0	85.5	67.5
10-20	139.5	94.5	67.5
20-40	153.0	103.5	72.0
40-80	166.5	121.5	90.0
80-120	180.0	144.0	108.0

ตารางที่ 3-2 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดันลมสถิตเทียบเท่าอ้างอิง (กก./ตร.ม.) กับความลาดเอียงของหลังคาสำหรับโครงสร้างที่มีความชะลูดไม่เกิน 1 และความสูงไม่เกิน 20 เมตร ($H/W \leq 1$ และ $H \leq 20$ เมตร)



Slope	Building Surfaces							
	1	1E	2	2E	3	3E	4	4E
0-5	34.1	52.2	-59.02	-90.8	-31.8	-45.4	-38.6	-49.9
20	45.4	68.1	-59.02	-90.8	-40.9	-59.02	-54.5	-68.1
30-45	47.7	59.02	18.2	22.7	-36.3	-45.4	-45.4	-54.5
90	47.7	59.02	47.7	59.02	-31.8	-40.9	-45.4	-54.5



Slope	Building Surfaces											
	1	1E	2	2E	3	3E	4	4E	5	5E	6	6E
0-90	-52.2	-54.5	-59	-90.8	-31.8	-45.4	-52.2	-54.5	34	52.2	-38.6	-49.9

T1800507

3.5.1 หน่วยแรงดันลมสถิตเทียบเท่าอ้างอิง ($\bar{p}$)

จากการศึกษาผลของคาบเวลาการสั่นตามธรรมชาติ ดังกล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.3.1 ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ของหน่วยแรงลมกับความสูง สำหรับเขตที่มีความเร็วลมอ้างอิงเท่ากับ 24.9 เมตร/วินาที โดยใช้เส้นเฉลี่ยของกรณี T=H/30 และ H/60 วินาที และเพื่อที่จะเสนอหน่วยแรงดันลมสถิตเทียบเท่าอ้างอิงให้สัมพันธ์กับหน่วยแรงลมสำหรับอาคารสูงที่เคยเสนอโดย ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ และคณะ (2538) ดังแสดงในรูปที่ ก-19 ถึง ก-21 จึงใช้ตัวคูณแพื่อลดค่าหน่วยแรงลมเท่ากับ 0.9 สำหรับใช้ในอาคารสูงปานกลาง ผลที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 3-4 ถึง 3-6 และตารางที่ 3-1 ซึ่งค่าที่ได้จะใกล้เคียงกับเส้นเฉลี่ยและอยู่เหนือเส้นกราฟ T=H/46 วินาที โดยทั่วไป

สำหรับอาคารที่มีความชะลูดไม่เกิน 1 และมีความสูงไม่เกิน 20 เมตร จะต้องคำนึงถึงผลของความลาดเอียงของหลังคาด้วย ซึ่งในการศึกษานี้จะคิดความสูงของอาคาร 20 เมตร โดยวิธีการอย่างง่ายที่ความเร็วลมพื้นฐานเท่ากับ 24.9 เมตร/วินาที ที่ความสูงเหนือพื้นดิน ที่คาบเวลากลับ 30 ปี ในลักษณะภูมิประเทศเปิดโล่ง

3.5.2 ตัวประกอบสำหรับปรับแก้เขตความเร็วลม (Z)

ในเขตที่มีค่าความเร็วลม 24.9 เมตร/วินาที ซึ่งเป็นค่าความเร็วลมที่พิจารณาในการศึกษาผลของตัวแปรต่าง ๆ และใช้ความเร็วลมนี้ในการเสนอหน่วยแรงดันลมสถิตเทียบเท่าอ้างอิง ตัวประกอบปรับแก้เขตความเร็วลมมีค่าเท่ากับ 1 ส่วนในเขตที่มีค่าความเร็วลม 28.2 เมตร/วินาที หน่วยแรงดันลมจะเพิ่มขึ้นตามกำลังสองของความเร็วลมประมาณ 28 % และเพิ่มเนื่องจากค่า Cg ที่เพิ่มขึ้นตามความเร็วลมอีกประมาณ 5 % ดังได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 3.3.4 ดังนั้นตัวประกอบปรับแก้สำหรับเขตความเร็วลม 28.2 เมตร/วินาที มีค่าเท่ากับ 1.33 ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ ก-4 ถึง ก-6 และตารางที่ ก-7 ถึง ก-19

3.5.3 ตัวประกอบปรับแก้สำหรับอิทธิพลของพายุไต้ฝุ่น (T)

จากการศึกษาของ Mikituk et al. (1994) พบว่า พายุไต้ฝุ่นแกย์มีความเร็วประมาณ 37.5 เมตร/วินาที เฉลี่ยในหนึ่งชั่วโมงที่ความสูง 10 เมตร เหนือพื้นดิน ซึ่งเป็นความเร็วลมที่คาบเวลากลับมากกว่า 1000 ปี ถึงแม้โอกาสที่จะเกิดพายุความเร็วลมเท่ากับ หรือมากกว่า 37.5 เมตร/วินาที มีน้อยมากก็ตาม แต่เหตุการณ์ไต้ฝุ่นลินดาเมื่อ 8 ปี ต่อมา ที่เกือบจะย้อนประวัติ

ได้ฝุ่นเกย์ แสดงให้เห็นถึงความจำเป็นที่ต้องพิจารณาความเร็วลม ไม่น้อยกว่าได้ฝุ่นเกย์ ในการออกแบบอย่างน้อยที่สุดในสภาวะประลัย เนื่องจากค่าหน่วยแรงดันลมสถิตเทียบเท่าอ้างอิงที่เสนอได้เสนอที่สภาวะใช้งานสำหรับเขตความเร็วลมอ้างอิง 24.9 เมตร/วินาที ดังนั้นจึงต้องปรับแก้ด้วยตัวคูณ T และตัวคูณน้ำหนัก (Load Factor) ที่จะให้ได้ผลเทียบเท่ากับค่าหน่วยแรงดันลมที่ความเร็ว 37.5 เมตร/วินาที ในกรณีที่ใช้ตัวคูณน้ำหนักสำหรับแรงลมเท่ากับ 2 ที่สภาวะประลัย และลดผลลง 25% เมื่อพิจารณาร่วมกับน้ำหนักบรรทุกจร หน่วยแรงดันลมที่สภาวะประลัยสำหรับเขตได้ฝุ่นมีค่าเท่ากับ

$$0.75\times2\times T\times\frac{1}{2}\rho\times24.9^{2}\times C_{e}\times C_{p}\times C_{g(24.9)}=0.75\times2\times T\times p_{(24.9)} \qquad (3\text{-}2)$$

โดยที่ $p_{(24.9)}$ คือ ค่าหน่วยแรงลมที่ความเร็ว 24.9 เมตร/วินาที

$p_{(37.5)}$ คือ ค่าหน่วยแรงลมที่ความเร็ว 37.5 เมตร/วินาที

T คือ ตัวประกอบปรับแก้สำหรับอิทธิพลของพายุได้ฝุ่น

ค่าดังกล่าวจะเทียบเท่ากับผลจากพายุได้ฝุ่นเกย์ นั่นคือ

$$0.75\times2\times T\times p_{(24.9)}=p_{(37.5)} \qquad (3\text{-}3)$$

ดังนั้น

$$T=\frac{p_{(37.5)}}{p_{(24.9)}(0.75\times2)} \qquad (3\text{-}4)$$

ในที่นี้จะพิจารณาค่าหน่วยแรงลม $p_{(37.5)}$ และ $p_{(24.9)}$ สำหรับอาคารที่มีคาบเวลาการสั่นตามธรรมชาติ H/46 วินาที ความชะลูดเท่ากับ 4 และอัตราส่วนความหน่วง 1.5 % ผลการวิเคราะห์ค่าหน่วยแรงลม $p_{(37.5)}$ และ $p_{(24.9)}$ แสดงในตารางที่ ก-4 ถึง ก-6 และตารางที่ ก-20 ถึง ก-22 ซึ่งนำมาหาค่า T ได้ กล่าวคือ

$$T=\frac{2.6}{0.75\times2}=1.7 \qquad (3\text{-}5)$$

ในทำนองเดียวกัน เมื่อใช้ตัวคูณน้ำหนักสำหรับแรงลมเท่ากับ 1.8 จะได้

$$T = \frac{2.6}{0.75 \times 1.8} = 1.9 \qquad (3\text{-}6)$$

และเมื่อใช้ตัวคูณน้ำหนัก สำหรับแรงลมเท่ากับ 1.7 จะได้

$$T = \frac{2.6}{0.75 \times 1.7} = 2.0 \qquad (3\text{-}7)$$

3.5.4 ตัวประกอบความสำคัญ (I)

ค่าหน่วยแรงดันลมสถิตเทียบเท่าอ้างอิง $\bar{p}$ ที่เสนอเป็นค่าที่ได้บนพื้นฐานของความเร็วลมที่คาบเวลากลับ 30 ปี สำหรับโครงสร้างทั่วๆไป แต่สำหรับอาคารสาธารณะหรืออาคารที่มีความสำคัญเป็นพิเศษ จะต้องออกแบบสำหรับความเร็วลมที่คาบเวลากลับ 100 ปี ซึ่งจะทำให้ได้ค่าหน่วยแรงดันลมมากขึ้นประมาณ 33 % จากค่าหน่วยแรงดันลมสถิตเทียบเท่าที่คาบเวลากลับ 30 ปี

สำหรับอาคารที่ได้รับอิทธิพลจากพายุไต้ฝุ่น จะถูกออกแบบที่คาบเวลากลับมากกว่า 1000 ปี เท่ากับคิดผลของความสำคัญของอาคารแล้ว จึงไม่ต้องปรับแก้ตัวประกอบความสำคัญ

3.5.5 ตัวประกอบปรับแก้สำหรับผลของอัตราส่วนความหน่วง (D)

ค่าหน่วยแรงดันลมสถิตเทียบเท่าอ้างอิง $\bar{p}$ ที่เสนอเป็นกรณีที่ค่าอัตราส่วนความหน่วงเท่ากับ 1.5% ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เมื่อค่าอัตราส่วนความหน่วงเปลี่ยนไป ค่าหน่วยแรงดันลมก็จะเปลี่ยนไปด้วย จึงต้องทำการปรับแก้ด้วยตัวประกอบปรับแก้ ผลของอัตราส่วนความหน่วง ดังค่าที่อ่านได้จากกราฟรูปที่ 3-8 สังเกตว่าเมื่อค่าอัตราส่วนความหน่วงเป็น 0.5% และ 1.0% จะมีผลทำให้ค่าหน่วยแรงลมเพิ่มขึ้น 15% และ 5% จากค่าอ้างอิงซึ่งคำนวณจากค่าอัตราส่วนความหน่วง 1.5% ตามลำดับ

3.5.6 ตัวประกอบปรับแก้สำหรับความชะลูดของอาคาร

ค่าหน่วยแรงดันลมสถิตเทียบเท่าอ้างอิง $\bar{p}$ ที่เสนอ พิจารณาที่ความชะลูดของอาคารเท่ากับ 4 เมื่ออาคารมีความชะลูดเพิ่มขึ้น ค่าหน่วยแรงดันลมก็จะเพิ่มขึ้นแบบเป็นเชิงเส้น จึงต้องทำการปรับแก้สำหรับความชะลูดของอาคารเมื่อเปลี่ยนไป ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.3.3