หน่วยแรงลมสำหรับการออกแบบอาคารสูงในประเทศไทย

WIND LOADING FOR TALL BUILDING DESIGN IN THAILAND

ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์

ศาสตราจารย์

พูลศักดิ์ เพียรสุสม นรินทร์ เอื้อศิริวรรณ

อาจารย์ นิสิตปริญญาโท

หน่วยวิจัยแผ่นดินไหวและการสั่นสะเทือน

คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PANITAN LUKKUNAPRASIT

PROFESSOR

PHOONSAK PHEINSUSOM NARIN EURSIRIWAN*

Lecturer Former Graduate Student

Earthquake Engineering and Vibration Laboratory

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

บทคัดย่อ

กฎกระทรวงว่าด้วยหน่วยแรงลมออกแบบออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันล้าสมัย และให้ค่าแรงลมที่น้อยเกินไปสำหรับอาคารสูงมาก หรืออาคารที่ตั้งอยู่ในจังหวัดภาคใต้ที่มีความเสี่ยงต่อการคุกคามของพายุไต้ฝุ่น บทความนี้เสนอวิธีการง่าย ๆ เพื่อคำนวณหาหน่วยแรงลมออกแบบสำหรับอาคารสูง โดยคำนึงถึงลักษณะภูมิอากาศ สภาพความขรุขระของบริเวณรอบ ๆ อาคาร คุณสมบัติทางพลศาสตร์ของอาคาร รวมทั้งความสำคัญของอาคาร

Abstract

The wind loading in the present building code under the Building Control Act B.E. 2522 is obsolete and too low for very tall buildings as well as buildings in the Southern part of Thailand which is prone to typhoon attack. This

paper presents a simplified procedure for computing the design wind loading for tall buildings, taking into account wind speed zoning, terrain roughness, dynamic characteristics and importance of buildings.

บทนำ

ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร เรื่องการควบคุมการก่อสร้างอาคาร รวมทั้งกฎกระทรวงฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2527) ซึ่งออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 และหมายให้ใช้ทั่วประเทศนั้น ได้ใช้บังคับเป็นกฎหมายมากว่า 10 ปีแล้ว กฎกระทรวงฯ ดังกล่าว (ซึ่งต่อไปนี้จะหมายรวมข้อบัญญัติ กทม. ด้วย) ล้าสมัย และในส่วนของข้อกำหนดเกี่ยวกับแรงลมนั้นไม่เหมาะสมหลายประการ กล่าวคือ กฎกระทรวงฯ ให้ค่าหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าซึ่งใช้เหมือนกันทั่วประเทศ มิได้คำนึงถึงเขต (Zoning) ที่มีความเร็วลมแตกต่างกัน รวมทั้งไม่ได้พิจารณาลักษณะสภาพความขรุขระ (Terrain roughness) ของบริเวณรอบที่ตั้งอาคารว่าเป็นสภาพที่โล่ง ชานเมือง หรือเมืองใหญ่ กฎกระทรวงฯ ให้ใช้ค่าหน่วยแรงลมฯ ที่ความสูง 40 เมตรขึ้นไปไม่น้อยกว่า 160 กก./ตร.ม. ซึ่งจากผลการวิจัยของหน่วยวิจัยแผ่นดินไหวฯ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่าค่านี้จะต่ำเกินไปสำหรับอาคารสูงมาก [1,2] ในจังหวัดภาคใต้ที่มีความเสี่ยงต่อการคุกคามของพายุไต้ฝุ่น ค่าหน่วยแรงลมที่กำหนดในกฎกระทรวงฯ จะต่ำเกินไป และไม่ปลอดภัยเพียงพอในการนำไปใช้ออกแบบก่อสร้างอาคารไม่ว่าจะเป็นอาคารเตี้ยหรืออาคารสูง นอกจากนี้กฎกระทรวงฯ มิได้ให้ความสำคัญแก่อาคารที่ใช้เพื่อสาธารณประโยชน์เป็นพิเศษ คงให้ใช้หน่วยแรงลมออกแบบเท่ากับอาคารทั่วไป

บทความนี้เสนอผลการวิจัยหาหน่วยแรงดันลมสถิตเทียบเท่า เพื่อการออกแบบอาคารสูงสำหรับประเทศไทย โดยคำนึงถึงลักษณะภูมิอากาศ สภาพความขรุขระของบริเวณรอบ ๆ อาคาร ความชะลูดของอาคาร รวมทั้งความสำคัญของอาคารสาธารณะ หน่วยแรงลมออกแบบนี้ถูกเสนอในรูปแบบที่ไม่ยุ่งยาก เพื่อให้สะดวกในการใช้ แต่มีความละเอียดเพียงพอในทางปฏิบัติ

ความเร็วลมพื้นฐาน (Basic Wind Speed)

หน่วยวิจัยแผ่นดินไหวและการสั่นสะเทือน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ร่วมกับ University of Western Ontario ได้ร่วมกันศึกษาวิจัยหาความเร็วลมออกแบบที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย [3,4] โดยได้พิจารณาทั้งลมประเภทพายุไต้ฝุ่น (รวมพายุโซนร้อนด้วย) และลมอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ไต้ฝุ่น (Non-typhoon wind) ข้อมูลความเร็วลมสูงสุดประจำปี (Annual extreme wind speed) ซึ่งบันทึกจากสถานีตรวจอากาศทั่วประเทศ 73 สถานีในช่วง พ.ศ. 2494-2533 ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคของ Gumbel และ Lieblein โดยสมมติว่า การกระจายของค่าความเร็วสูงสุดเป็นประเภท 1 (Type I extreme-value distribution) ในกรณีนี้ได้ทำการตัดข้อมูลที่เป็นผลจากลมไต้ฝุ่นออก (ลมไต้ฝุ่นจะถูกแยกพิจารณาต่างหาก) รูปที่ 1 แสดงค่าปลายสุดของความเร็วลมเฉลี่ยในเวลาหนึ่งชั่วโมง (Extreme hourly-mean wind speed) ที่ความสูง 10 เมตรในสภาพภูมิประเทศโล่ง (Open country terrain) สำหรับคาบเวลากลับ (Return period) 50

ปี สำหรับพายุไต้ฝุ่นนั้น Mikitiuk และคณะ [3] ได้ทำการจำลองการเกิดพายุไต้ฝุ่นในประเทศไทยด้วยวิธี Monte Carlo Computer Simulation โดยอาศัยข้อมูลพายุไต้ฝุ่นในบริเวณตะวันตกเฉียงเหนือของมหาสมุทรแปซิฟิค เพื่อหาคุณลักษณะ (characteristics) ของพายุไต้ฝุ่นในแถบนี้ จากผลการจำลองพายุไต้ฝุ่นในรัศมี 500 กิโลเมตร จากสถานีที่พิจารณา ทำให้สามารถวิเคราะห์ความเร็วลมสูงสุดในคาบเวลาที่สนใจได้ รูปที่ 2 แสดงค่าปลายสุดของความเร็วลมจากไต้ฝุ่นเฉลี่ยในหนึ่งชั่วโมงที่ความสูง 10 เมตรในสภาพภูมิประเทศโล่ง สำหรับคาบเวลากลับ 50 ปี จากการพิจารณารูปที่ 1 และ 2 จะเห็นว่าสำหรับคาบเวลากลับ 50 ปี ค่าปลายสุดของความเร็วลมพื้นฐานของระบบลมธรรมดา (ที่ไม่ใช่ไต้ฝุ่น) มีค่ามากกว่าผลจากอิทธิพลของพายุไต้ฝุ่น อย่างไรก็ตาม สำหรับคาบเวลากลับมากขึ้น ผลของพายุไต้ฝุ่นจะเพิ่มเร็วกว่าผลของระบบลมธรรมดา (รูปที่ 3) ทำให้เมื่อคาบเวลากลับสูงมาก ๆ ระบบพายุไต้ฝุ่นจะมีผลมากกว่า จากการศึกษาของ Mikitiuk และคณะ [3] พบว่าพายุไต้ฝุ่นเกย์ซึ่งได้ทำให้เกิดความเสียหายอย่างใหญ่หลวงในภาคใต้ตอนบนเมื่อ พ.ศ. 2532 นั้น มีความเร็วลม์สูงสุดเฉลี่ยในหนึ่งชั่วโมงเท่ากับ 37.5 m/s ที่ความสูง 10 เมตร ความเร็วลมของพายุนี้มีคาบเวลากลับมากกว่า 1000 ปี อย่างไรก็ตามหากเกิดพายุเช่นนี้อีกในอนาคต ประชาชนทั่วไปย่อมคาดหวังว่าอาคารไม่ควรจะพังทลาย (แต่อาจเสียหายบ้างในลักษณะที่ซ่อมแซมได้) ดังนั้นจึงอาจพิจารณาได้ว่าอาคารจะต้องมีกำลังเพียงพอที่จะต้านลมพายุขนาด 37.5 m/s ได้ในสถานะสิ้นสุดประลัย (Ultimate limit state) ในสถานะใช้งาน สำหรับภาคใต้ความเร็วลมประเภทธรรมดาเป็นตัวกำหนดและมีค่า 26.5 m/s เมื่อพิจารณาตัวคูณน้ำหนัก (Load factor) สำหรับแรงลมเท่ากับ 1.8* และลดผลลง 25% สำหรับผลจากแรงลมที่สถานะประลัย น้ำหนักบรรทุกประลัยจากแรงลมมีค่า

$$0.75 \times 1.80\ (26.5T)^2 k$$

โดยที่ k เป็นสัมประสิทธิ์แปลงจากความเร็วลมไปเป็นแรงดันลม และ T เป็นตัวประกอบไต้ฝุ่น ค่าดังกล่าวจะเทียบเท่ากับผลจากพายุไต้ฝุ่นเกย์ นั่นคือ

$$0.75 \times 1.80\ (26.5T)^2 k = (37.5)^2 k$$

ดังนั้น $T = (37.5 / 26.5) / \sqrt{0.75 \times 1.8} = 1.22$

รูปที่ 4 เป็นแผนที่ความเร็วลมพื้นฐานสำหรับการใช้งานทั่วไป (ซึ่งพิจารณาที่ความสูง 10 เมตรในสภาพภูมิประเทศโล่ง คาบเวลากลับ 50 ปี) โดยที่ความเร็วลมนี้จะต้องถูกปรับด้วยตัวประกอบเพื่อแก้สภาพภูมิประเทศ ความสูง และอิทธิพลอื่นที่สำคัญ และในเขตพื้นที่ที่อาจได้รับอิทธิพลจากพายุไต้ฝุ่นในภาคใต้นั้นจะต้องใช้ตัวประกอบไต้ฝุ่น 1.22 คูณความเร็วลมพื้นฐาน ดังที่แสดงไว้ข้างต้น สำหรับคาบเวลากลับอื่น ๆ (เช่น 10 ปี 100 ปี)

---

* เนื่องจากความไม่แน่นอนของข้อมูลลม ประกอบกับลมพายุโซนร้อนและไต้ฝุ่นเกิดขึ้นค่อนข้างน้อย (ที่พาดผ่าน หรือใกล้ประเทศไทย) ดังนั้นจึงไม่สมควรอย่างยิ่งที่จะใช้ค่าตัวคูณน้ำหนักต่ำ

การศึกษา [3] พบความสัมพันธ์ของความเร็วลมที่คาบเวลากลับ T, $\bar{V}(T)$, เทียบกับที่คาบเวลากลับ 50 ปี $\bar{V}(50)$ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ของความเร็วลมที่คาบเวลา T เทียบกับที่คาบเวลา 50 ปี

คาบเวลากลับ	$\bar{V}(T) / \bar{V}(50)$
5	0.75
10	0.82
30	0.94
50	1.00
100	1.08
1000	1.38

หน่วยแรงดันลมสถิตเทียบเท่ากระทำกับอาคารสูง

ในการศึกษานี้ได้ใช้วิธีการในข้อกำหนดการออกแบบอาคารของประเทศแคนาดา (National Building Code of Canada) ค.ศ. 1990 (NBC 1990) [5] ในการคำนวณหน่วยแรงดันลมสถิตเทียบเท่าที่กระทำกับอาคารสูง แต่เนื่องจากข้อกำหนด NBC ค่อนข้างยุ่งยากเมื่อเทียบกับข้อกำหนดในกฎกระทรวงฯ ปัจจุบัน คณะผู้วิจัยจึงเสนอวิธีการที่ง่ายคล้ายคลึงกับที่เคยใช้ในกฎกระทรวงที่วิศวกรคุ้นเคยดี แต่มีตัวประกอบปรับแก้สำหรับผลต่าง ๆ ดังนี้

$$p = \bar{p} Z T R I \qquad (1)$$

โดยที่ p = หน่วยแรงดันลมสถิตเทียบเท่าที่ระดับที่พิจารณากระทำกับพื้นที่ฉายตั้งฉากกับแนวแรงลม (รวมผลแรงดันและแรงดูด)

$\bar{p}$ = หน่วยแรงดันลมสถิตเทียบเท่าอ้างอิงสำหรับความเร็วลมพื้นฐาน $\bar{V}$ เท่ากับ 26.5 เมตร/วินาที ที่ความสูง 10 เมตร ในเขตทั่ว ๆ ไป สำหรับคาบเวลากลับ 50 ปี สำหรับโครงสร้างที่มีความชะลูดไม่เกิน 4:1 (ความสูงต่อความกว้าง $H/W \leq 4:1$)

Z = ตัวประกอบปรับแก้ สำหรับเขตความเร็วลมต่าง ๆ

= 1 สำหรับเขตที่ $\bar{V}$ = 26.5 m/s

= 1.33 สำหรับเขตที่ $\bar{V}$ = 30 m/s

T = ตัวประกอบปรับแก้ สำหรับอิทธิพลของพายุไต้ฝุ่น

= 1.00 สำหรับเขตทั่ว ๆ ไป

= 1.50 สำหรับเขตที่อาจได้รับอิทธิพลพายุไต้ฝุ่น (ดูแผนที่ในรูปที่ 4)

R = ตัวประกอบปรับแก้ สำหรับความชะลูดของอาคาร

= 1.00 สำหรับอาคารที่มีอัตราส่วน H/W ≤ 4

= 1.07 สำหรับอาคารที่มีอัตราส่วน H/W = 6

= 1.12 สำหรับอาคารที่มีอัตราส่วน H/W = 8

I = ตัวประกอบความสำคัญ (Importance factor)

= 1.30 สำหรับอาคารสาธารณะ เช่น โรงพยาบาล โรงเรียน สถานีดับเพลิง อาคารบรรเทาสาธารณภัย โรงไฟฟ้า ชุมสายโทรศัพท์ หรืออาคารที่มีความสำคัญเป็นพิเศษ อาคารเหล่านี้มีค่าเท่ากับถูกออกแบบสำหรับความเร็วลมซึ่งมีคาบเวลากลับประมาณ 100 ปี

= 1.0 สำหรับอาคารทั่วไป

ในการศึกษานี้หน่วยแรงลมอ้างอิงได้พิจารณาจากอาคารสี่เหลี่ยมที่มีอัตราส่วนความสูงต่อความกว้าง (H/W) เท่ากับ 4 ในเขตที่มีความเร็วลมพื้นฐานเท่ากับ 26.5 เมตร/วินาที ในคาบเวลากลับ 50 ปี โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยจากกรณีของความสูงอาคาร 3 ขนาด คือ ความสูง 100, 200 และ 300 เมตร และคาบเวลาการสั่นตามธรรมชาติ (Natural period of vibration) ของอาคารอยู่ในช่วง 2-4 วินาที 4-7 วินาที และ 5-9 วินาที ตามลำดับ คาบเวลาที่เลือกนี้ครอบคลุมช่วงคาบเวลาการสั่นธรรมชาติที่พบมากในทางปฏิบัติ ผลการวิเคราะห์แสดงไว้ในรูปที่ 5 ก-ค พร้อมหน่วยแรงลมตามกฎกระทรวง ฉบับที่ 6 ตารางที่ 2 ให้ค่า $\bar{p}$ ที่ความสูงต่าง ๆ สำหรับลักษณะภูมิประเทศโล่ง (Open terrain - แบบ A) ชานเมืองหรือเมืองขนาดกลาง (Suburban and urban areas - แบบ B) และเมืองใหญ่ (แบบ C)** โดยได้ใช้ค่าความเร็วลมในคาบเวลากลับ 30 ปี ในการคำนวณตามวิธีการของ NBC [5]

ตัวอย่างการคำนวณค่าหน่วยแรงลมอย่างง่าย

พิจารณาอาคารสำนักงานสูง 200 เมตร H/W = 6 ตั้งอยู่ในกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีความเร็วลมพื้นฐาน $\bar{V}$ = 26.5 m/s (ดูรูปที่ 4) สมมติภูมิประเทศแบบ B การคำนวณหน่วยแรงดันลมที่ความสูงต่าง ๆ สามารถกระทำได้โดยง่าย ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยที่ค่า $\bar{p}$ อ่านจากตารางที่ 2 ภูมิประเทศแบบ B Z = 1.00 เนื่องจาก $\bar{V}$ = 26.5 m/s, T = 1 (ไม่ใช่เขตไต้ฝุ่น), R = 1.07 สำหรับ H/W = 6 และ I = 1 สำหรับอาคารทั่วไป เพื่อเป็นการเปรียบเทียบได้แสดงค่าหน่วยแรงลมซึ่งคำนวณโดยวิธีละเอียดตาม NBC ไว้ด้วย โดยสมมติคาบการสั่นธรรมชาติของอาคารเท่ากับ 6 วินาที (ซึ่งเป็นค่าคาดหวังทั่วไปสำหรับอาคาร 60 ชั้น) และอัตราการหน่วง = 2% จะเห็นว่าวิธีการอย่างง่ายที่เสนอนี้ให้ค่าผิดพลาดไปจากวิธี NBC ภายในประมาณ 1-7%

** ภูมิประเทศแบบ C หมายถึง ใจกลางเมืองใหญ่ ซึ่งมีอาคารสูงหนาแน่น อย่างน้อยร้อยละ 50 ของอาคาร จะต้องสูงมากกว่า 4 ชั้น

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงลมอ้างอิงกับลักษณะภูมิประเทศ

ความสูง (ม.)	หน่วยแรงลมอ้างอิง (กก./ตร.ม.)		
	ภูมิประเทศแบบ A	ภูมิประเทศแบบ B	ภูมิประเทศแบบ C
0 - 10	140	95	75
10 - 20	155	105	75
20 - 40	170	115	80
40 - 80	185	135	100
80 - 120	200	160	120
120 - 160	210	175	140
160 - 200	220	190	160
200 - 250	230	210	180
250 - 300	240	225	200

หมายเหตุ : **หน่วยแรงลมอ้างอิง** คือ หน่วยแรงลมที่กระทำบนโครงสร้างที่มีอัตราส่วนความชะลูด H/W ไม่มากกว่า 4 และค่าความเร็วลมพื้นฐานเท่ากับ 26.5 เมตรต่อวินาทีที่ระดับ 10 เมตร ในคาบเวลา 50 ปี

ตารางที่ 3 ตัวอย่างค่าหน่วยแรงลมโดยวิธีการคำนวณแบบง่ายเปรียบเทียบกับหน่วยแรงลมตามวิธี NBC

ความสูง (ม.)	$\bar{p}$ ภูมิประเทศแบบ B (กก./ตร.ม.)	ตัวประกอบปรับแก้	ค่าหน่วยแรงลมอย่างง่าย (กก./ตร.ม.)	ค่าหน่วยแรงลม NBC (กก./ตร.ม.)	ผลต่าง (%)
0 - 10	95		102	101	1.0
10 - 20	105	Z = 1.00	112	105	6.7
20 - 40	115	T = 1.00	123	120	2.5
40 - 80	135	R = 1.07	144	142	1.4
80 - 120	160	I = 1.00	171	166	3.0
120 - 160	175		187	185	1.1
160 - 200	190		203	200	1.5

สรุป

วิธีการคำนวณหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าสำหรับการออกแบบอาคารสูง (รูปสี่เหลี่ยม) ที่เสนอนี้เป็นวิธีที่ใช้ง่าย แต่ละเอียดเพียงพอในทางปฏิบัติโดยทั่วไป วิธีการที่เสนอนี้คำนึงถึงสภาพลักษณะภูมิอากาศ อิทธิพลของไต้ฝุ่น (ถ้ามี) สภาพภูมิประเทศที่ตั้งอาคาร ความสำคัญของอาคาร รวมทั้งการตอบสนองทางพลศาสตร์ของอาคาร ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในอาคารสูง อย่างไรก็ตาม หากอาคารมีรูปทรงผิดไปจากสี่เหลี่ยมมาก หรือมีคุณสมบัติทางพลศาสตร์แตกต่างจากกรณีทั่วไป เช่น อาคารมีอัตราการหน่วงน้อยผิดปกติ หรือมีสภาพแวดล้อมที่อาจมีผลต่อพฤติกรรมอากาศพลศาสตร์ของอาคาร เช่น มีกลุ่มอาคารอยู่ชิดกันมาก ก็ควรจะใช้วิธีการละเอียด ดังเช่นที่ให้ใน NBC หรือทดสอบในอุโมงค์ลมในกรณีที่ไม่สามารถประยุกต์มาตรฐาน NBC

เอกสารอ้างอิง

1. ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์, กฎกระทรวงให้ค่าออกแบบแรงลมปลอดภัยเพียงไร, วิศวกรรมสาร วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ ปีที่ 42 เล่มที่ 6, หน้า 39-40, 2532.

2. อุทัย ฤกษ์ศิริรัตน์, ค่าแรงลมสถิตเทียบเท่าเพื่อใช้ในการคำนวณออกแบบอาคารสูงในกรุงเทพ, วิทยานิพนธ์วิศวกรรศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2533.

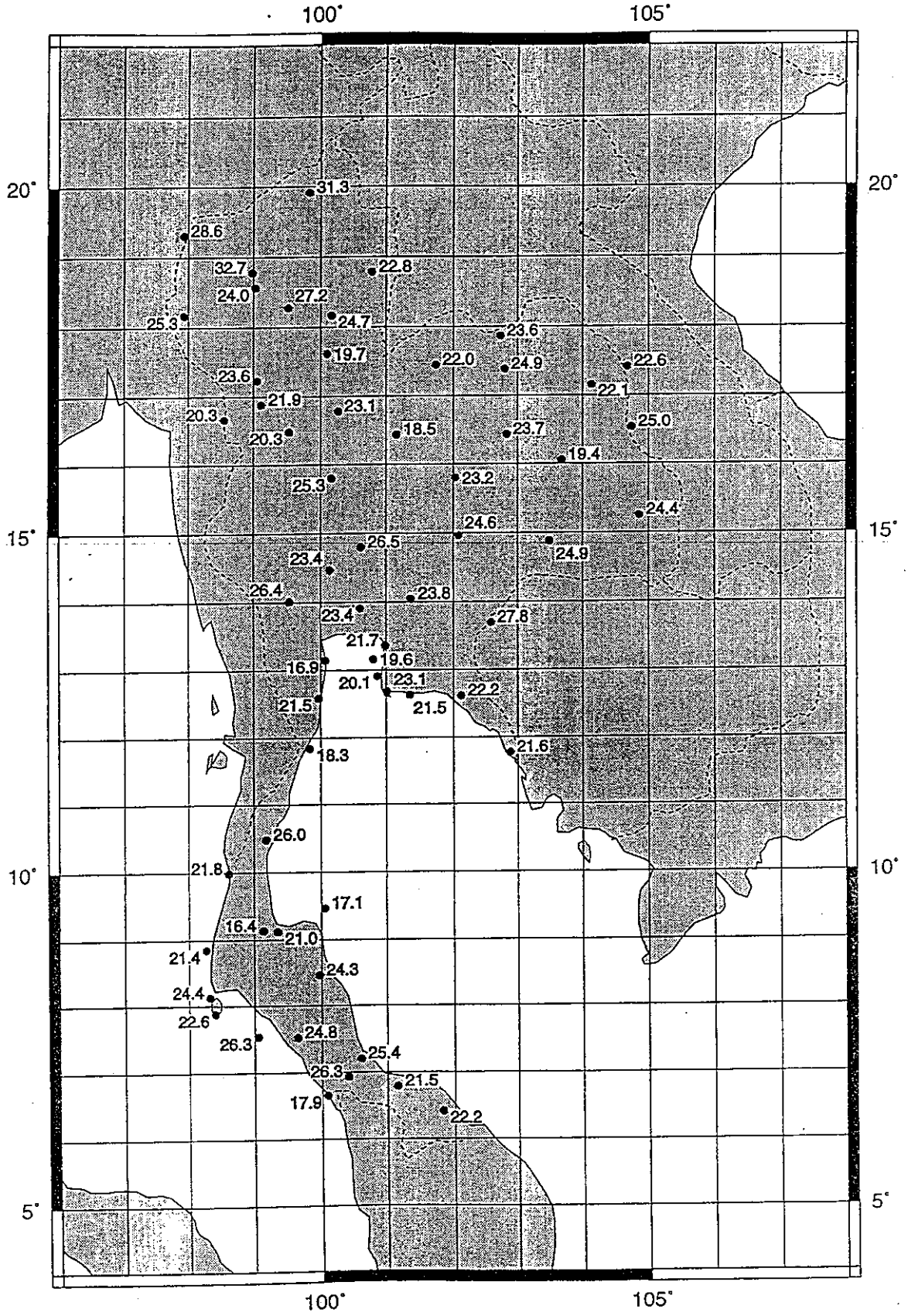
3. M. Mikitiuk, D. Surry, P. Lukkunaprasit and N. Eursiriwan, A Sutdy of the Wind Climate for Thailand, Joint Research Report by Faculty of Engineering, Chulalongkorn University and Boundary Layer Wind Tunnel Laboratory, University of Western Ontario, CU \ CE \ EVR 1995.001, September 1995.

4. P. Lukkunaprasit, M. Mikitiuk, D. Surry and N. Eursiriwan, Design Wind Speeds for Thailand Incorporating Typhoon Factor, Proceedings of the Annual Conference of the Engineering Institute of Thailand, 1994.

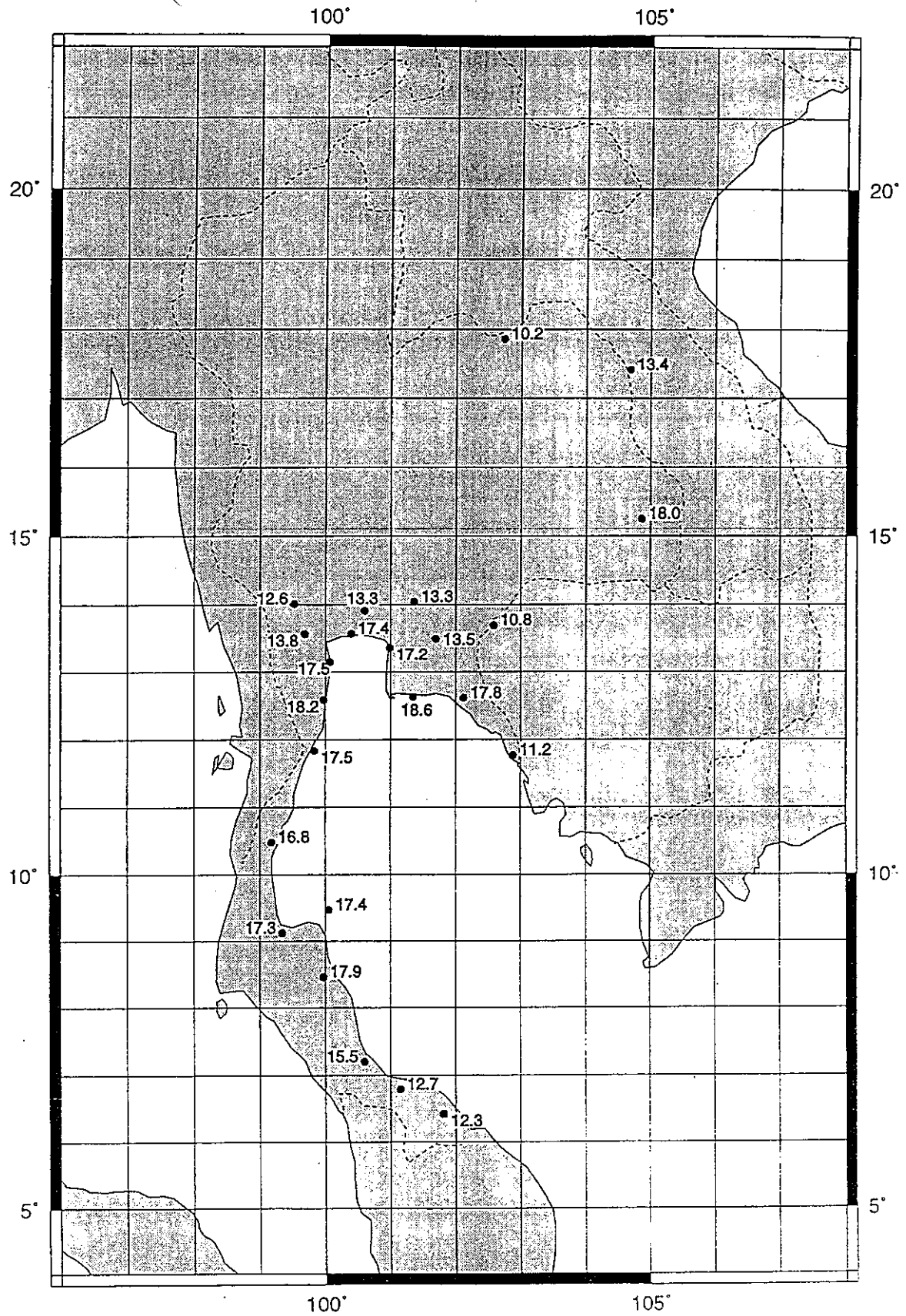
5. National Building Code of Canada, Associate Committee on the National Building Code, National Research Council of Canada, Ottawa, 1990.

กิตติกรรมประกาศ

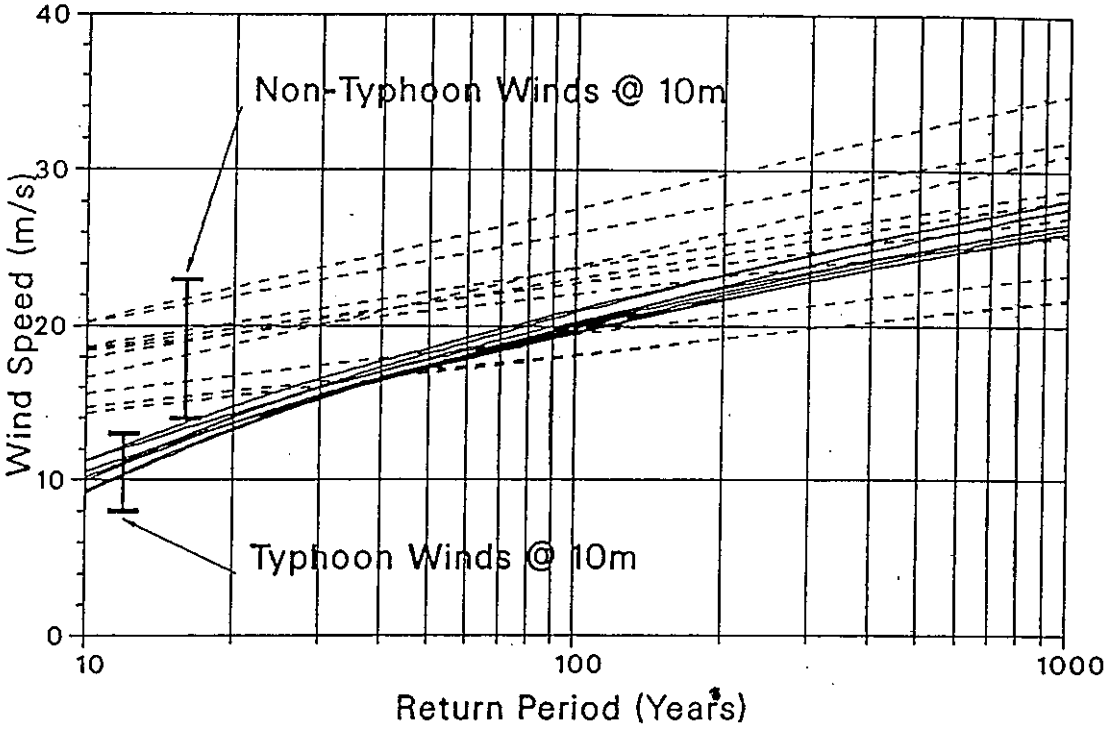
คณะผู้วิจัยขอขอบคุณการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนบางส่วนของงานวิจัยที่รายงานนี้



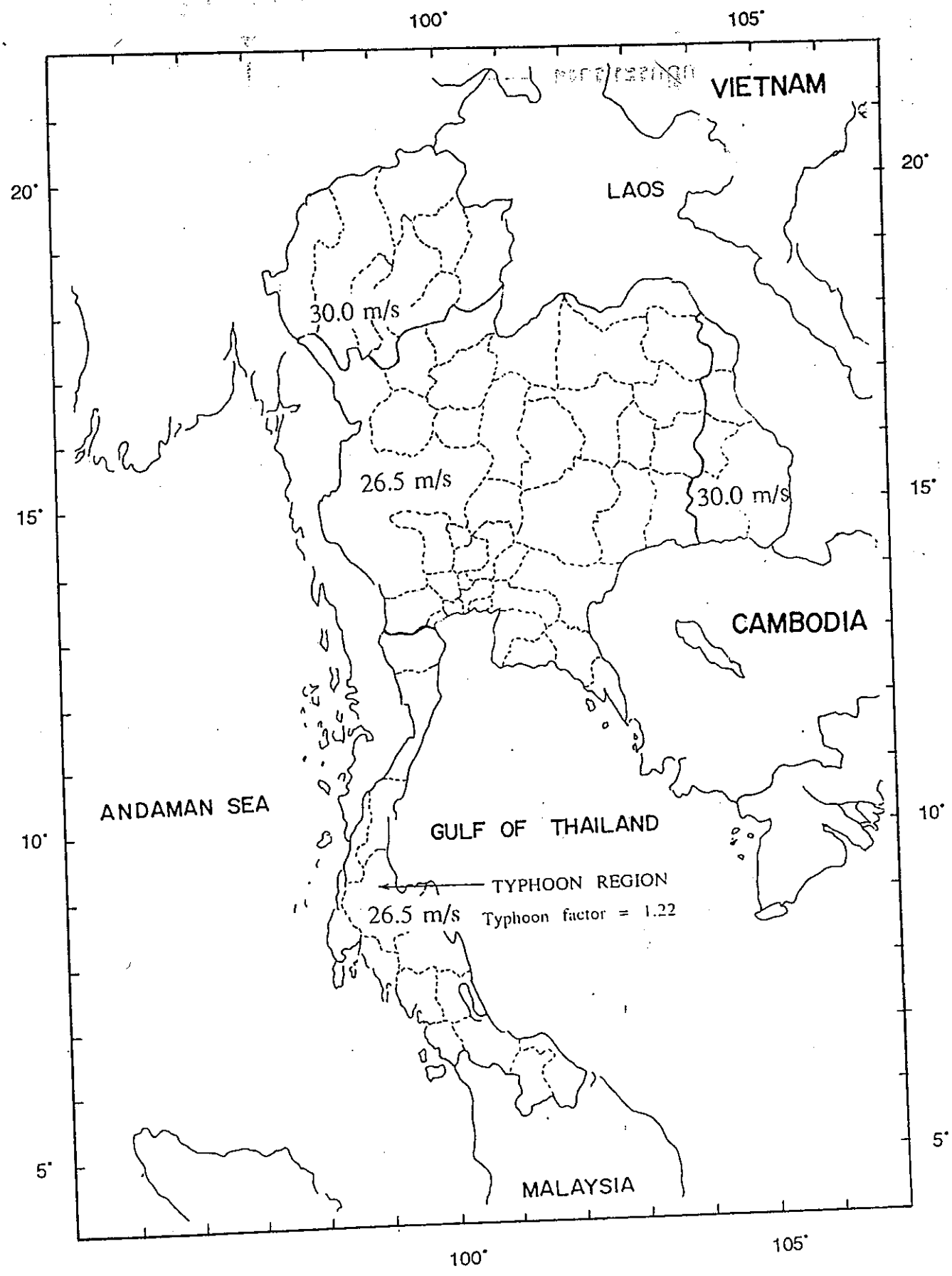
รูปที่ 1 ค่าปลายสุดของความเร็วลมเฉลี่ยในเวลาหนึ่งชั่วโมงที่ความสูง 10 เมตรในสภาพภูมิประเทศโล่ง คาบเวลากลับ 50 ปี สำหรับระบบลมธรรมดา (หน่วย : เมตรต่อวินาที)



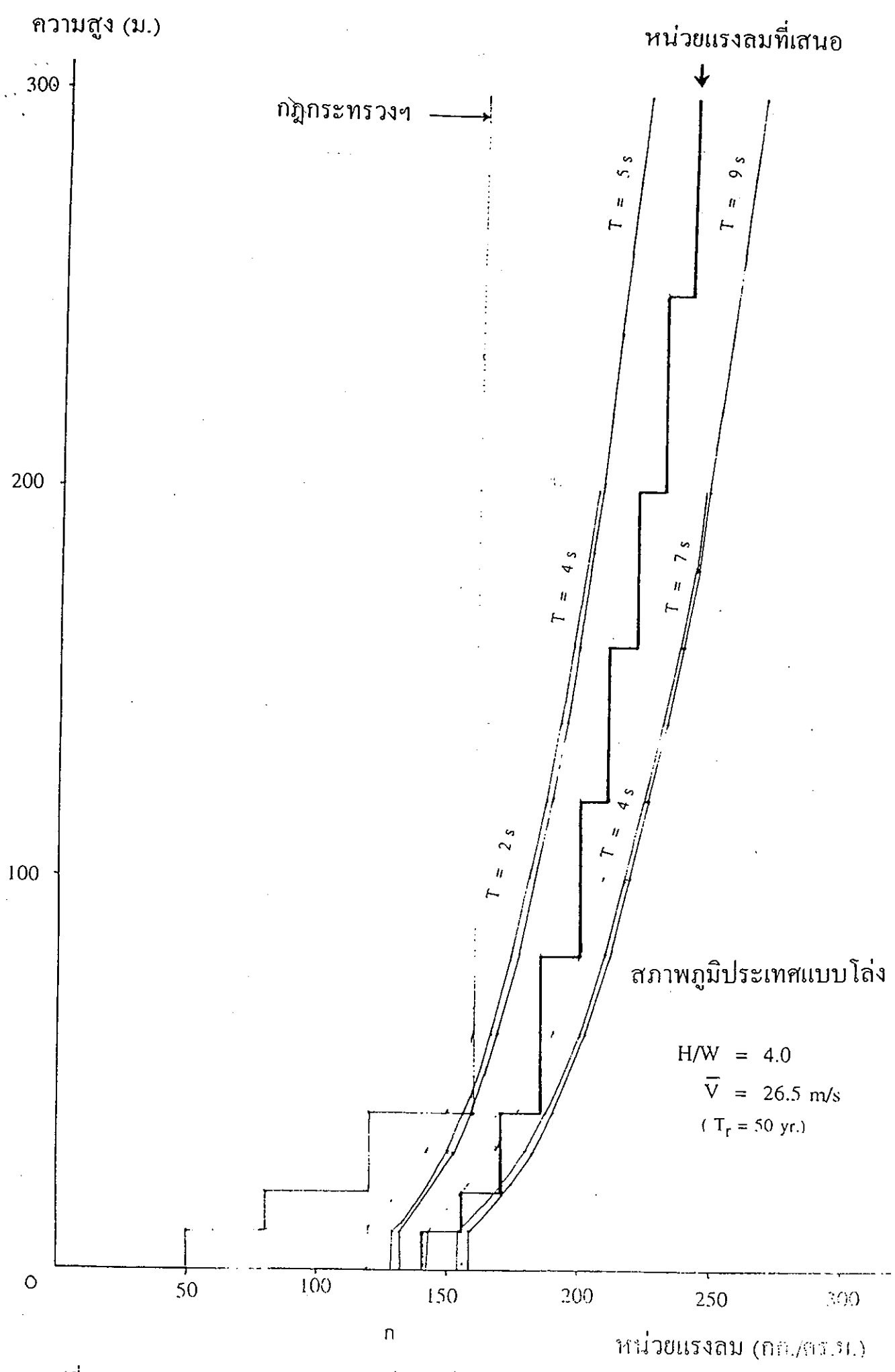
รูปที่ 2 ค่าปลายสุดของความเร็วลมเฉลี่ยในเวลาหนึ่งชั่วโมงที่ความสูง 10 เมตรในลภาพภูมิประเทศโล่ง คาบเวลากลับ 50 ปี สำหรับลมพายุไต้ฝุ่น (หน่วย : เมตรต่อวินาที)



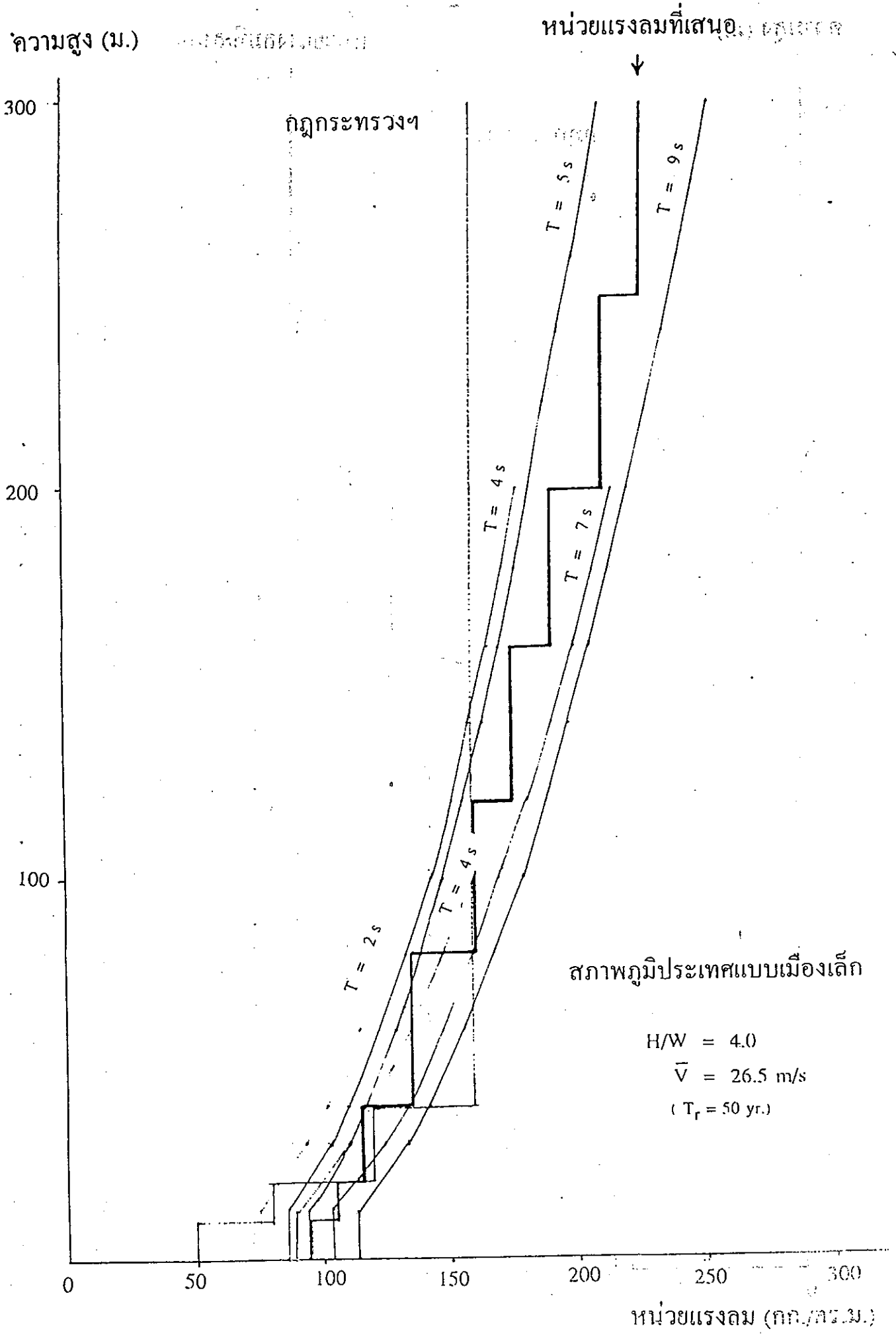
รูปที่ .3 ความสัมพันธ์ของความเร็วลมสูงสุด (เฉลี่ยในหนึ่งชั่วโมง) กับคาบเวลากลับ สำหรับลมไต้ฝุ่นและลมธรรมดา



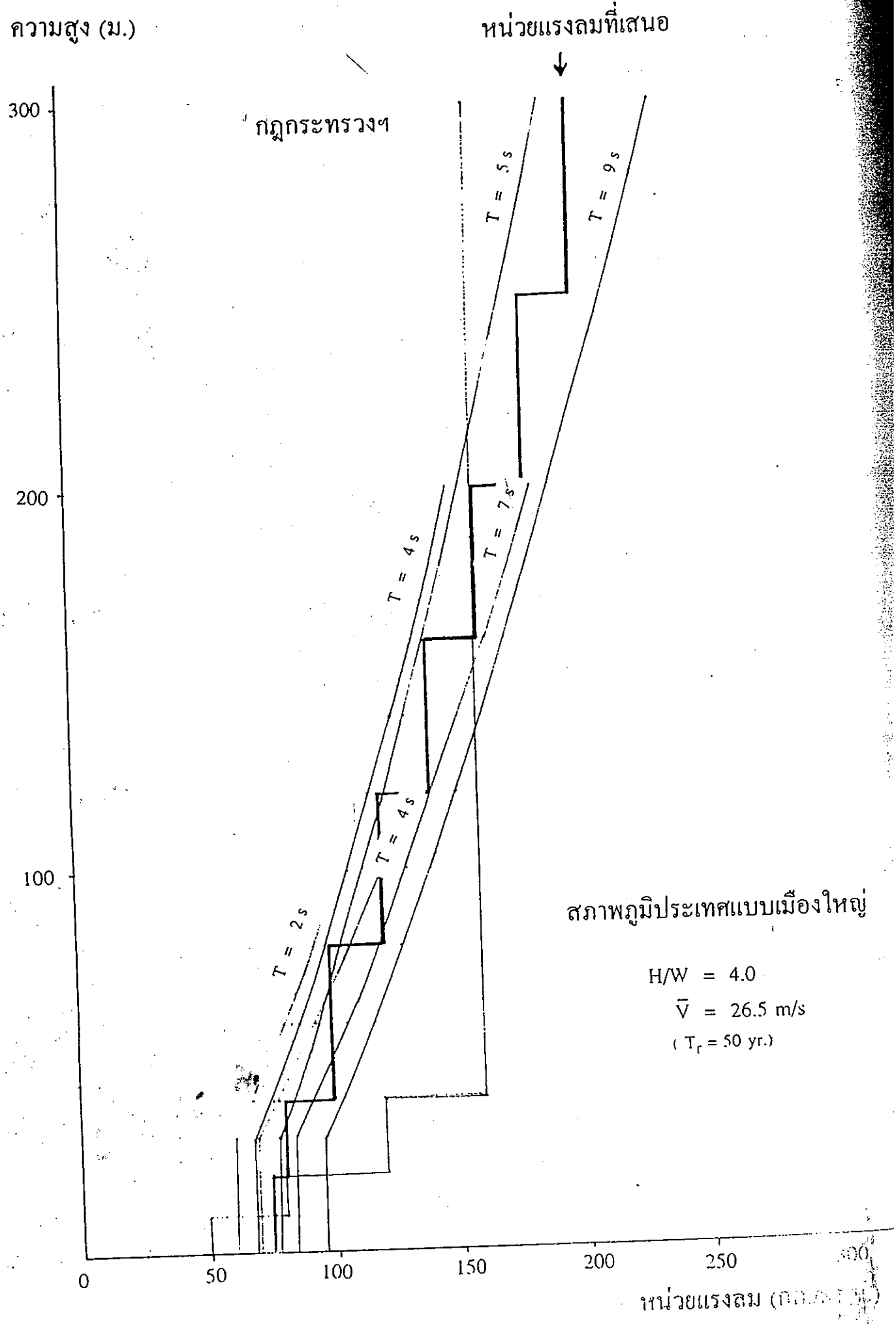
รูปที่ 4 แผนที่ความเร็วลมพื้นฐานเฉลี่ยในหนึ่งชั่วโมงที่ความสูง 10 เมตรในสภาพภูมิประเทศโล่ง คาบเวลากลับ 50 ปี (หน่วย : เมตรต่อวินาที)



รูปที่ 5 หน่วยแรงลมสำหรับอาคารสูงที่มีคาบสั่นไหวธรรมชาติที่น่าจะเป็นไปได้ สำหรับ ก. สภาพภูมิประเทศแบบโล่ง, ข. สภาพภูมิประเทศแบบเมืองเล็ก, ค. สภาพภูมิประเทศแบบเมืองใหญ่


ความสูง (ม.)
หน่วยแรงลมที่เสนอ
กฎกระทรวงฯ
300
200
100
T = 5 s
T = 9 s
T = 4 s
T = 7 s
T = 4 s
T = 2 s
สภาพภูมิประเทศแบบเมืองเล็ก
H/W = 4.0
$\bar{V}$ = 26.5 m/s
(T_r = 50 yr.)
0
50
100
150
200
250
300
หน่วยแรงลม (กก./ตร.ม.)

รูปที่ 5 (ต่อ) ข


ความสูง (ม.)
หน่วยแรงลมที่เสนอ
กฎกระทรวงฯ
300
200
100
0
50
100
150
200
250
T = 5 s
T = 9 s
T = 7 s
T = 4 s
T = 4 s
T = 2 s
สภาพภูมิประเทศแบบเมืองใหญ่
H/W = 4.0
$\bar{V}$ = 26.5 m/s
(T_r = 50 yr.)
หน่วยแรงลม

รูปที่ 5 (ต่อ) ค