บทที่ 2

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์

ทฤษฎีทางด้านอากาศพลศาสตร์

ลมหรือการเคลื่อนที่ของอากาศ เกิดขึ้นจากความแตกต่างของความดันอากาศระหว่างจุดสองจุดในระดับความสูงเดียวกัน ความแตกต่างของความดันอากาศนี้เกิดขึ้นจากการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์และการสะสมความร้อนของผิวโลก เมื่อใดที่จุดใดจุดหนึ่งได้รับความร้อนสูงกว่า อากาศบริเวณนั้นจะเกิดการขยายตัวและลอยตัวขึ้นสูง ก่อให้เกิดบริเวณความกดอากาศต่ำ ทำให้อากาศบริเวณที่มีความกดอากาศสูงกว่า หรืออุณหภูมิต่ำกว่าเคลื่อนตัวเข้ามาแทนที่และก่อให้เกิดลมขึ้น

โดยที่อากาศเป็นของไหลชนิดหนึ่ง มีคุณสมบัติของความหนืดและความเสียดทาน ดังนั้นบริเวณที่อากาศเคลื่อนที่ติดกับพื้นผิวโลกซึ่งมีความขรุขระ ย่อมทำให้เกิดแรงเสียดทานมีผลทำให้ความเร็วของการเคลื่อนที่ลดลง และเกิดการไหลแบบไหลวน (Turbulent Flow) อย่างไรก็ตาม ผลกระทบจากแรงเสียดทานของผิวโลกจะลดลงขณะที่ความสูงจากผิวโลกเพิ่มขึ้น จนกระทั่งเมื่อถึงความสูงระดับหนึ่ง ผลของแรงเสียดทานนี้จะน้อยมากจนไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณา ความสูงนี้เรียกว่า ความสูงเกรเดียนต์ (Gradient Height) และชั้นของบรรยากาศที่อยู่ระหว่างผิวโลกและความสูงเกรเดียนต์นี้เรียกว่า บาวดารี่เลเยอร์ (Boundary Layer) ซึ่งเป็นชั้นบรรยากาศที่มีความสำคัญต่อการออกแบบโครงสร้างในงานวิศวกรรมโยธา

สมการเบอร์นูลี (Bernoulli's Equation)

สำหรับการไหลอย่างสม่ำเสมอและไม่คิดผลของแรงเฉื่อยจากการไหล ผลรวมของความดันสถิตย์ p ที่จุดใดๆ กับค่าความดันพลวัต (Dynamic Pressure) $1/2\ \rho U^2$ ตามแนวของการไหลที่ขณะใด ขณะหนึ่ง จะมีค่าคงที่ดังนี้

$$1/2\ \rho U^2 + p = \text{ค่าคงที่} \qquad (2\text{-}1)$$

ρ คือ ค่ามวลของของไหล

และ U คือ ค่าความเร็วของของไหล

<u>กฎยกกำลัง</u> **(Power Law)**

ปี ค.ศ. 1916 Hellman [8] ได้เสนอรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความสูงจากระดับพื้นดิน ในช่วงบาวดารีเลเยอร์ ในรูปของกฎยกกำลัง ดังนี้

$$U(Zg1) = U(Zg2)\left(Zg1/Zg2\right)^{\alpha} \qquad (2\text{-}2)$$

โดยที่ U (Zg1) , U (Zg2) คือ ค่าความเร็วลมที่ระดับความสูง Zg1 และ Zg2 จากระดับพื้นดินตามลำดับ และ α คือ ค่าตัวเลขยกกำลัง ซึ่งมีค่าขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศ

ต่อมาในปี ค.ศ. 1965 Davenport [2] ได้เสนอว่าค่าความสูงเกรเดียนต์และค่าตัวเลขยกกำลัง สำหรับกฎยกกำลังขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศเท่านั้น และสำหรับภูมิประเทศแบบหนึ่งค่าตัวเลขยกกำลังจะมีค่าคงที่จนถึงระดับความสูงเกรเดียนต์ นั่นคือ

$$U(Zg) = G\left(Zg/\delta\right)^{\alpha} \qquad (2\text{-}3)$$

โดยที่ U (Zg) คือ ค่าความเร็วลมที่ระดับความสูง Zg จากระดับพื้นดิน

δ คือ ค่าความสูงเกรเดียนต์

G คือ ค่าความเร็วลมที่ความสูงเกรเดียนต์

ดังนั้น ค่าความเร็วลมที่ความสูงเกรเดียนต์ที่ขณะใดขณะหนึ่ง สามารถหาได้เมื่อทราบค่าความเร็วลมที่ระดับใดระดับหนึ่ง สำหรับสภาพภูมิประเทศแบบหนึ่ง ดังนี้

$$G = U(Zg) / \left(Zg/\delta\right)^{\alpha} \qquad (2\text{-}4)$$

Davenport [9] ได้รวบรวมและแบ่งลักษณะภูมิประเทศที่มีอิทธิพลต่อความเร็วลมออกเป็น 8 แบบ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2-2 ในขณะที่ ANSI A58.1-1982 [10] ได้แบ่งลักษณะของภูมิประเทศที่มีอิทธิพลต่อความเร็วลมออกเป็น 4 แบบดังแสดงไว้ในตารางที่ 2-1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทฤษฎีทางสถิติและความน่าจะเป็น

โดยปกติแล้วลมจะมีลักษณะการเคลื่อนที่แบบไหลวน เนื่องจากคุณสมบัติของความหนืดที่ค่อนข้างต่ำ ค่าของความเร็วลมจึงมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ตลอดความสูงในชั้นบาวดารี่เลเยอร์ ค่าของความเร็วลม ณ ความสูงจากพื้นดินที่ระดับใดระดับหนึ่ง ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาสามารถแสดงได้ดังตัวอย่างในรูปที่ 2-4 ที่ขณะใดขณะหนึ่งค่าของความเร็วลมจะประกอบด้วยค่าของความเร็วลมเฉลี่ย, $\overline{V}$ และค่าของความเร็วลมกรรโชก, V' ซึ่งเป็นค่าของความเร็วลมส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่ไม่แน่นอนตลอดเวลา นั่นคือ

$$V = \overline{V} + V' \qquad (2\text{-}5)$$

ดังนั้นการศึกษาทางด้านอากาศพลศาสตร์จึงจำเป็นต้องอาศัยทฤษฎีทางด้านสถิติและความน่าจะ เป็นเข้าช่วย

1. การขึ้นแก่กัน (Dependence) และการไม่ขึ้นแก่กัน (Independence) ของเหตุการณ์

สมมุติให้ A และ B เป็นเหตุการณ์ 2 เหตุการณ์ และกำหนดให้ $P(A \cap B)$ แทนความน่าจะเป็นที่เหตุการณ์ A และเหตุการณ์ B จะเกิดขึ้นพร้อมกัน เหตุการณ์ A และ B จะถูกเรียกว่าเป็นเหตุการณ์ที่ขึ้นแก่กันเมื่อ

$$P(A \cap B) = P(B)\,P(A/B) \qquad (2\text{-}6a)$$

$$= P(A)\,P(B/A) \qquad (2\text{-}6b)$$

และเหตุการณ์ A และ B จะถูกเรียกว่าเป็นเหตุการณ์ที่ไม่ขึ้นแก่กันเมื่อ

$$P(A \cap B) = P(A)\,P(B) \qquad (2\text{-}7)$$

โดยที่ $P(A)$ คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ A

$P(B)$ คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ B

$P(A/B)$ คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ A เมื่อเกิดเหตุการณ์ B

และ $P(B/A)$ คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ B เมื่อเกิดเหตุการณ์ A

2. ตัวแปรสุ่ม (Random Variable), ขบวนการสุ่ม (Random Process)

สำหรับเหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่ง ตัวแปรสุ่มของเหตุการณ์นั้นคือเซทของผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมดของเหตุการณ์นั้นและขบวนการใดๆ จะถูกเรียกว่าเป็นขบวนการสุ่ม เมื่อสมาชิกของขบวนการนั้นๆ ณ เวลาใดๆ ประกอบขึ้นด้วยตัวแปรสุ่ม

ขบวนการสุ่มใดๆ จะถูกเรียกว่าเป็นขบวนการสุ่มแบบไม่เคลื่อนที่ (Stationary Random Process) เมื่อค่าทางสถิติของขบวนการสุ่มนั้นไม่ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาของการสุ่มตัวอย่าง และขบวนการสุ่มแบบไม่เคลื่อนที่ใดๆ จะถูกเรียกว่าเป็นขบวนการ เออร์กอดิก (Ergodic Process) ก็ต่อเมื่อค่าเฉลี่ยที่ได้จากช่วงเวลาใดๆ ของขบวนการนั้น และค่าเฉลี่ยจากช่วงเวลาทั้งหมดของขบวนการนั้นมีค่าเท่ากัน กล่าวคือสำหรับขบวนการที่ไม่มีความต่อเนื่องทางด้านเวลา

$$E[X(t)] = 1/n \sum_{n=1}^{n} X(ti) \qquad (2\text{-}8)$$

สำหรับขบวนการที่มีความต่อเนื่องทางด้านเวลา

$$E[X(t)] = 1/T \int_{0}^{T} X(t)\, dt \qquad (2\text{-}9)$$

โดยที่ $E[X(t)]$ คือ ค่าเฉลี่ยจากช่วงเวลาทั้งหมด และ

$1/n \sum_{n=1}^{n} X(ti)$, $1/T \int_{0}^{T} X(t)\, dt$ คือ ค่าเฉลี่ยจากช่วงเวลาใดๆ

การกระจายค่าปลายสุดแบบที่ 1 (Extreme Value Distribution Type I)

ให้ Y_n เป็นค่ามากที่สุดของตัวแปรสุ่ม X_i n จำนวน $X_1, X_2, \ldots\ldots X_n$ กล่าวคือ

$$Y_n = \max (X_1, X_2, \ldots\ldots X_n) \qquad (2\text{-}10)$$

เนื่องจาก Y_n หาได้จากตัวอย่างของประชากรของ X_i ซึ่งเป็นตัวแปรสุ่ม ดังนั้น Y_n จึงเป็นตัวแปรสุ่มด้วย ซึ่งฟังก์ชันการกระจายของ Y_n สามารถหาได้จากฟังก์ชันการกระจายของตัวแปรสุ่ม X

ถ้าสมมุติให้ค่าตัวแปรสุ่ม X_i นี้ไม่ขึ้นแก่กันและมีการกระจายที่เหมือนกัน นั่นคือ

$$F_{X1}(x) = F_{X2}(x) = \ldots\ldots = F_{Xn}(x) = F_X(x) \qquad (2\text{-}11)$$

ดังนั้นฟังก์ชันการกระจายของ Y_n หาได้จาก

$$F_{Yn}(y) = P[Y_n \leq y] \quad (2\text{-}12)$$

$$= P[X_1 \leq y, X_2 \leq y, \ldots, X_n \leq y]$$

$$= [F_X(y)]^n \quad (2\text{-}13)$$

และฟังก์ชันความหนาแน่นของ Y_n หาได้โดย

$$f_{Yn}(y) = \frac{\partial F_{Yn}(y)}{\partial y}$$

$$= n[F_X(y)]^{n-1} f_X(y) \quad (2\text{-}14)$$

ในการหาการกระจายปลายสุด (Limiting Distribution) ของค่าสูงสุด n ค่าของตัวแปรสุ่ม X_i เมื่อ n มีค่ามาก หากสมมุติว่าค่า x_i มีการกระจายโดยไม่สิ้นสุดในทิศทางบวกและบริเวณโค้งปลายบน (Upper Tail) ลดลงในลักษณะเอกซ์โพเนนเชียลแล้ว จะได้การกระจายของตัวแปรสุ่มปลายสุด Y_n ซึ่งมีคุณสมบัติตามสมการต่อไปนี้ (Gumbel [11])

$$F_{Yn}(y) = \exp[-\exp[-\alpha_n (y - U_n)]] \quad , -\infty \leq y \leq \infty \quad (2\text{-}15)$$

และ $$f_{Yn}(y) = \alpha_n \exp[-\alpha_n (y-U_n)] \exp[-\exp[-\alpha_n (y-U_n)]] \quad (2\text{-}16)$$

โดยที่ $F_{Yn}(y)$ คือ ฟังก์ชันการกระจายความน่าจะเป็นสะสม (Cumulative Probability Distribution Function) ของตัวแปรสุ่มปลายสุด Y_n แบบที่ 1

α_n คือ ตัวประกอบสเกล (Scale Factor) ซึ่งเป็นตัววัดค่าการกระจาย (Dispersion) ของข้อมูล

U_n คือ ฐานนิยม (Mode) ของข้อมูล

และ $f_{Yn}(y)$ คือ ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (Probability Density Function) ของตัวแปรสุ่มปลายสุด Y_n

สมการที่ (2-15) สามารถเขียนใหม่ในรูปของตัวแปรสุ่ม y ได้เป็น

$$y = U_n + (1/\alpha_n)[-\ln [-\ln F_{Yn}(y)]] \quad (2\text{-}17)$$

Thom [12] พบว่าค่า $F_{Yn}(y)$ สามารถคำนวณได้สำหรับแต่ละค่าของ y จากจำนวนข้อมูล N โดยการจัดเรียงข้อมูลตามลำดับจากน้อยไปหามากและให้ลำดับข้อมูลเหล่านั้นจากลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ N ค่าของ $F_{Yn}(y)$ สำหรับค่าของ y ในลำดับที่ j สามารถหาได้จาก

$$F_{Yn}(y) = j / (N+1) \quad (2\text{-}18)$$

ค่า α_n และ U_n ในสมการที่ (2-17) สามารถหาได้จากระเบียบวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Method) และค่าของ y สำหรับคาบการกลับที่ R_p ใดๆ สามารถหาได้จากสมการที่ (2-17) โดยที่

$$F_{Yn}(y) = 1 - 1/R_p \quad (2\text{-}19)$$

<u>สหสัมพันธ์อย่างง่าย</u> **(Simple Correlation)**

เพื่อใช้ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปร 2 ตัวใดๆ โดยมีสมมติฐานในการวิเคราะห์ดังนี้

1. ตัวแปร 2 ตัวใดๆ X และ Y ที่จะทำการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่าย (Simple Correlation Coefficient), ρ จะถือว่าเป็นตัวแปรสุ่มทั้งคู่ ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องระบุว่าตัวแปรไหนเป็นตัวแปรอิสระและตัวแปรตัวไหนเป็นตัวแปรตาม

2. ประชากรของตัวแปรมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ กล่าวคือ เป็นประชากรที่ทั้ง X และ Y มีการแจกแจงเป็นแบบปกติ ค่าคาดหวังและค่าความแปรปรวนของ X คือ $E(X) = \mu_X$ และ $Var(X) = \sigma^2_X$ ค่าคาดหวังและค่าความแปรปรวนของ Y คือ $E(Y) = \mu_Y$ และ $Var(Y) = \sigma^2_Y$ ตามลำดับ

3. ความสัมพันธ์ระหว่าง X และ Y เป็นเส้นตรง โดยอาศัยข้อสมมุติเบื้องต้น ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่ายในประชากรจะคำนวณได้จาก

$$\rho = \frac{Cov(X, Y)}{\sigma_X \sigma_Y}$$

$$= \frac{E(X-\mu_X)(Y-\mu_Y)}{\sqrt{E(X-\mu_X)^2 E(Y-\mu_Y)^2}}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^{N} (Xi-\mu_X)(Yi-\mu_Y)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N} (Xi-\mu_X)^2 \sum_{i=1}^{N} (Yi-\mu_Y)^2}} \qquad (2\text{-}20)$$

โดยที่ N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมดในประชากร

ในกรณีที่ต้องการใช้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจโดยตรง ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่ายในประชากร, r สามารถประมาณได้จาก

$$r = \frac{n\sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{[n\sum X^2 - (\sum X)^2][n\sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \qquad (2\text{-}21)$$

โดยที่ n คือ จำนวนข้อมูลของ X หรือ Y

ค่าสหสัมพันธ์ จะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง +1 ถ้าข้อมูลมีการกระจายมาก สหสัมพันธ์จะมีค่าใกล้ศูนย์ ถ้าค่าสหสัมพันธ์มีค่า +1 แสดงว่าตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์ไปในทางเดียวกันอย่างสมบูรณ์ ในขณะเดียวกันถ้าค่าสหสัมพันธ์ มีค่า -1 แสดงว่า X และ Y มีความสัมพันธ์ไปในทางตรงข้ามกันอย่างสมบูรณ์

ตารางที่ 2-1 รายละเอียดลักษณะภูมิประเทศ ตามข้อกำหนดของ ANSI A58.1- 1982 [10]

พื้นที่ชายฝั่ง (Coastal Area)		ที่โล่ง (Open Terrain)		ชานเมือง (Suburban Terrain)		ใจกลางเมืองใหญ่ (Centars of Large Cities)	
α	δ (เมตร)	α	δ (เมตร)	α	δ (เมตร)	α	δ (เมตร)
1/10	215	1/7	275	1/4.5	370	1/3	460

ใจกลางเมืองใหญ่ คือ ที่ศูนย์กลางของเมือง มีอาคารที่สูงเกิน 21 เมตร (70 ฟุต) อย่างน้อย 50% โดยที่พิจารณาลักษณะภูมิประเทศด้านเหนือลมเป็นระยะทางที่น้อยที่สุด 800 เมตร (0.5 ไมล์) หรือ 10 เท่าของความสูงของโครงสร้าง โดยใช้ค่าที่มากกว่า

ชานเมือง คือ พื้นที่รอบชานเมือง, พื้นที่ป่าหรือสภาพภูมิประเทศที่มีสิ่งกีดขวางอยู่ใกล้ชิดกัน โดยที่พิจารณาลักษณะภูมิประเทศด้านเหนือลมเป็นระยะทางที่น้อยที่สุด 460 เมตร (1500 ฟุต) หรือ 10 เท่าของความสูงของโครงการ โดยใช้ค่าที่มากกว่า

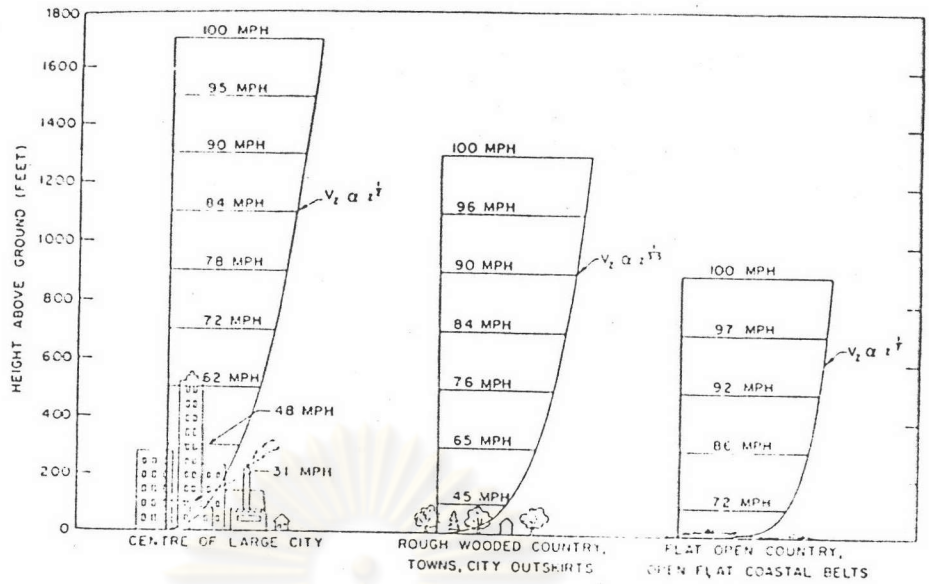
ที่โล่ง คือ สภาพภูมิประเทศที่มีสิ่งกีดขวางที่มีความสูงน้อยกว่า 9 เมตร (30 ฟุต) รวมทั้งพื้นที่ทุ่งราบ ทุ่งหญ้า

พื้นที่ชายฝั่ง คือ พื้นที่ชายฝั่งที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง โดยพิจารณาลักษณะภูมิประเทศด้านที่เป็นพื้นดินเป็นระยะทางที่น้อยที่สุด 460 เมตร (1500 ฟุต) หรือ 10 เท่าของความสูงของโครงสร้างโดยใช้ค่าที่มากกว่า

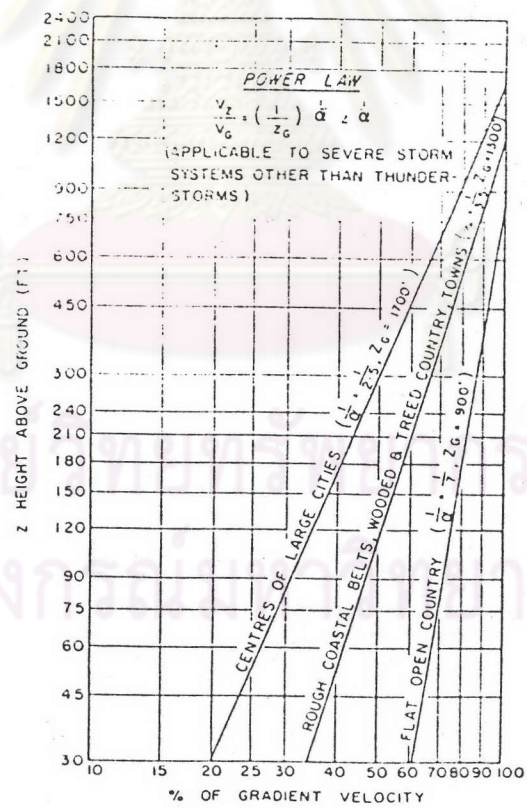
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2-2 รายละเอียดลักษณะภูมิประเทศ ตามข้อกำหนดของ Davenport [9]

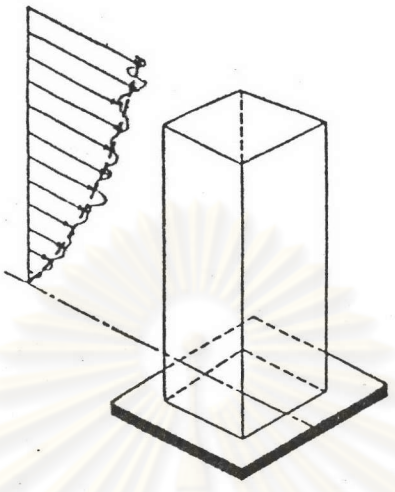
รายละเอียด ลักษณะภูมิประเทศ	α	δ (ฟุต)
พื้นที่ที่มีผิวเรียบมาก : เช่น ทะเลกว้างๆ, เกาะเตี้ยๆ ที่ไม่มีต้นไม้และผู้อยู่อาศัย, ผืนน้ำที่ราบเรียบ, พื้นที่ราบที่เลียบชายฝั่ง	1/8.5	800
พื้นราบที่มีสิ่งกีดขวางเตี้ยๆ : เช่น ทุ่งหญ้า, ทะเลทราย, ที่ราบที่ไม่มีต้นไม้ที่ขั้วโลก	1/7.5	900
พื้นราบหรือพื้นผิวที่มีลูกคลื่นเล็กน้อยพร้อมกับมีสิ่งกีดขวางที่ใหญ่ขึ้นอีกเล็กน้อย : เช่น พื้นที่การเกษตรที่มีต้นไม้อยู่กระจายห่างๆกัน และอาคารที่ปราศจากรั้วหรือเครื่องกีดขวางอื่นๆ, พื้นที่หรือทุ่งที่มีพุ่มไม้เตี้ย	1/6.5	1000
พื้นที่ที่มีลูกคลื่นหรือพื้นที่ราบที่มีสิ่งกีดขวางหรืออาคารเตี้ยๆ : เช่น ทุ่งกว้างๆ ที่มีรั้วหรือกำแพง, พื้นที่ที่มีต้นไม้กระจายอยู่ห่างๆ และมีอาคาร	1/5.5	1100
พื้นที่ที่ลูกคลื่นหรือพื้นที่ราบที่มีสิ่งกีดขวางหลายๆ ขนาดจำนวนมาก เช่น พื้นที่การเกษตรพร้อมกับทุ่งเล็กๆ และมีรั้วหรือสิ่งกีดขวางที่หนาแน่น, มีการต้านทานลมจากต้นไม้ที่กระจัดกระจาย, มีอาคาร 2 ชั้น ที่กระจัดกระจาย	1/4.5	1200
พื้นที่ที่เป็นลูกคลื่นหรือพื้นราบที่มีสิ่งกีดขวางขนาดใหญ่จำนวนมากกระจายครอบคลุมอยู่อย่างสม่ำเสมอ : เช่น ป่าไม้, ป่าละเมาะ, สวนอุทยาน	1/3.5	1350
พื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวางขนาดใหญ่จำนวนมากกระจายอยู่ : เช่น ชานเมือง, พื้นที่รอบนอกของเมืองใหญ่, พื้นที่การเกษตรที่มีต้นไม้มากๆ และมีการต้านทานลมจากต้นไม้สูง	1/3	1500
พื้นผิวที่ครอบคลุมเต็มไปด้วยสิ่งกีดขวางใหญ่ๆ : เช่น ศูนย์กลางของเมืองใหญ่	1/2.5	1800



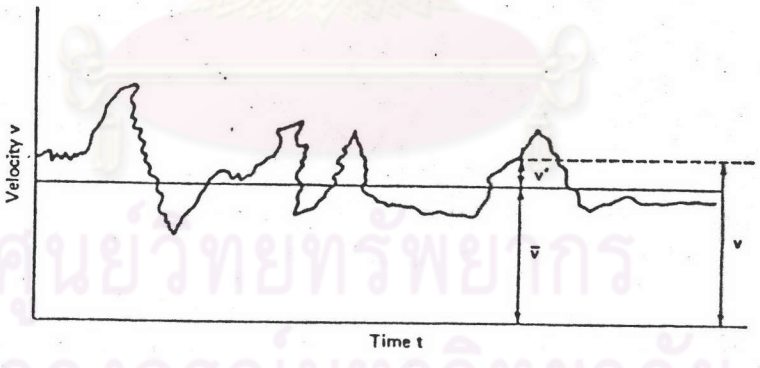
รูปที่ 2-1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วลมและความสูงจากระดับพื้นดิน สำหรับภูมิประเทศแบบต่างๆ โดยกฎยกกำลัง [13]



รูปที่ 2-2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วลมและความสูงจากระดับพื้นดิน ภายในบาวดารี่เลเยอร์ สำหรับสภาพภูมิประเทศแบบต่างๆ โดยกฎยกกำลัง [13]

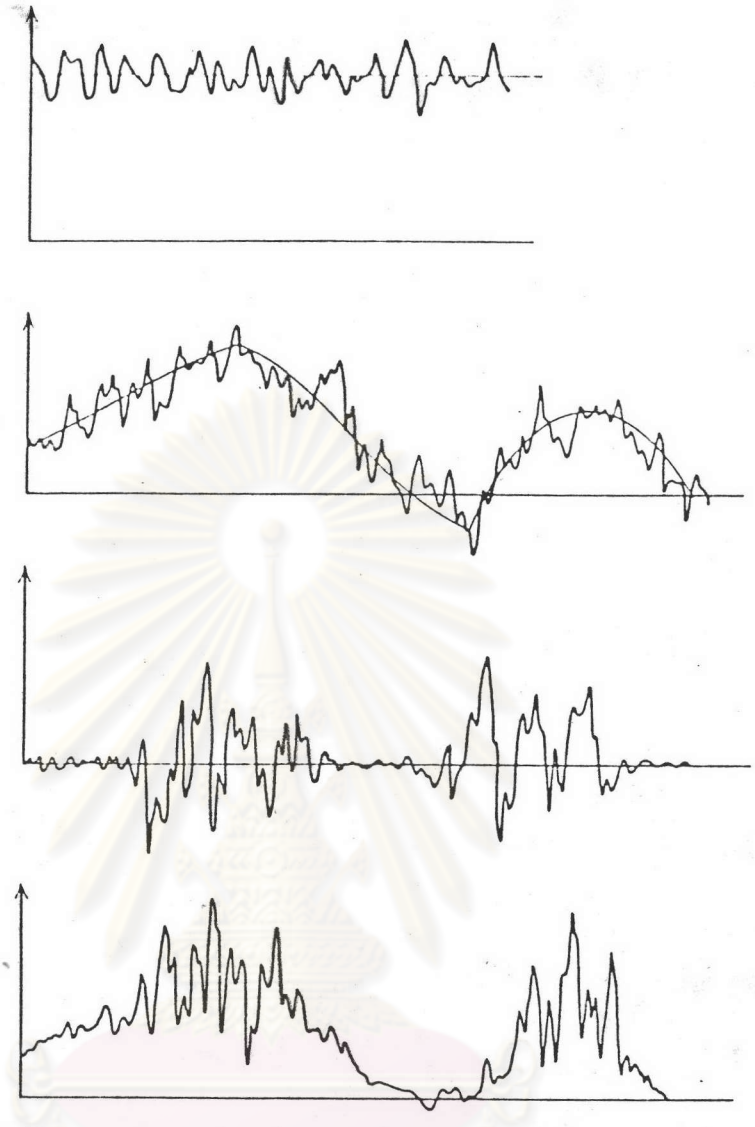


รูปที่ 2-3 การเปลี่ยนแปลงของค่าความเร็วลม V ตามเวลา t



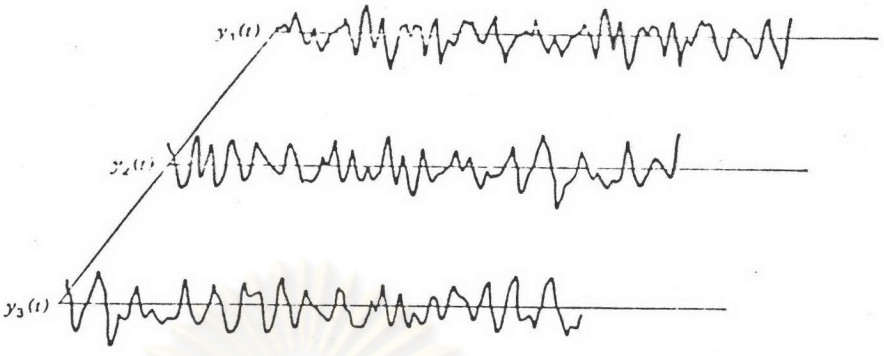
รูปที่ 2-4 การเปลี่ยนแปลงของค่าความเร็วลม V ตามเวลา t ซึ่งแสดงให้เห็นส่วนของค่าความเร็วลมเฉลี่ย, $\overline{V}$ และค่าความเร็วลมกรรโชก V' [14]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

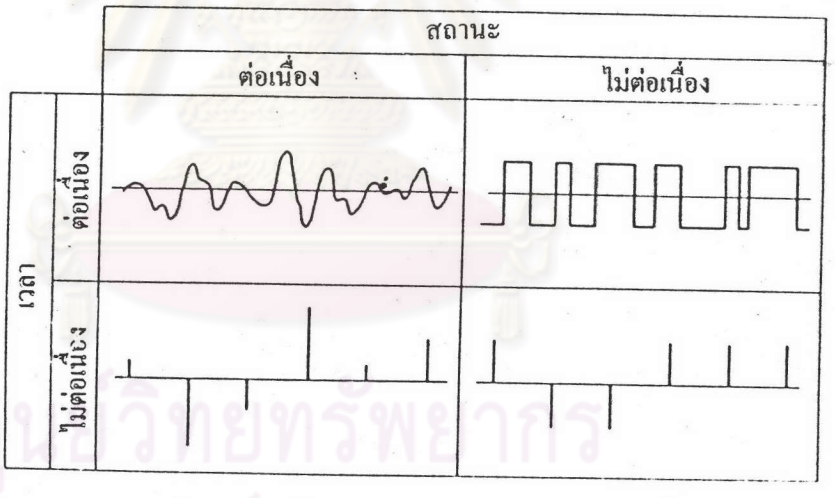


รูปที่ 2-5 ลักษณะของขบวนการสุ่มแบบต่างๆ [14]
ก) ขบวนการสุ่มแบบไม่เคลื่อนที่
ข), ค), ง) ขบวนการสุ่มซึ่งมีค่าเฉลี่ยและ/หรือ
ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยเปลี่ยนแปลงตามเวลา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2-6 ขบวนการสุ่มแบบไม่เคลื่อนที่เออร์กอดิก [14]



รูปที่ 2-7 ลักษณะของขบวนการสุ่ม ที่มีความต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องทางด้านสถานะและเวลา [15]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย