บทที่ 3

การทดสอบภายในอุโมงค์ลม

ความนำ

อุโมงค์ลมได้ถูกนำมาใช้ในการทดสอบทางด้านแรงลม สำหรับโครงสร้างมาเป็นเวลานาน โดยในระยะแรกๆ เป็นการทดสอบด้วยความเร็วลมสม่ำเสมอ (Uniform Flow) ภายใต้สมมุติฐานว่าแรงดันลมเป็นแรงดันแบบสถิตย์ และค่าแรงดันลมออกแบบสามารถหาได้จากผลคูณระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความดันลม ซึ่งได้จากการทดสอบภายในอุโมงค์ลมกับค่าความดันลมพลวัตจากค่าความเร็วลมสูงสุดอ้างอิง ซึ่งอาจเป็นค่าความเร็วลมสูงสุดสำหรับคาบการกลับ 50 ปี ในรูปของความเร็วไมล์สูงสุดหรือความเร็วลมเฉลี่ย 1 ชั่วโมง

จากการศึกษาการเคลื่อนไหวของลม พบว่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของลมบริเวณใกล้พื้นดินจะถูกหน่วงให้ลดลง เนื่องจากสภาพขรุขระของพื้นผิวโลกและจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดที่ความสูงเกรเดียนต์ โดยเรียกช่วงความสูงนี้ว่า บาวดารี่เลเยอร์ ซึ่งจะมีค่าความสูงประมาณ 500 เมตร ในบริเวณใจกลางเมืองใหญ่ โดยที่สิ่งปลูกสร้างต่างๆ จะอยู่ในช่วงความสูงนี้ ดังนั้นการทดสอบเพื่อหาค่าแรงลมที่กระทำต่อโครงสร้าง โดยการทดสอบภายในอุโมงค์ลมภายใต้ความเร็วลมสม่ำเสมอ จึงไม่เป็นการเหมาะสม

Jensen ได้เสนอกฎการจำลองปรากฏการณ์ของลมธรรมชาติ ซึ่งทำให้เกิดการตระหนักถึงความจำเป็นในการจำลองลักษณะการไหลวนแบบเฉือน (Turbulent shear flow) ของลมธรรมชาติ

การทดสอบในอุโมงค์ลมได้พัฒนาขึ้นมากหลังจากนั้น ปัจจุบันมีการจำลองสภาพการไหลวน และการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมตามความสูงจากระดับพื้นดิน ให้สอดคล้องกับสภาพของลมตามธรรมชาติ โดยการสร้างอุโมงค์ลมที่มีความยาวมากเพียงพอที่จะทำให้บาวดารี่เลเยอร์ ก่อตัวขึ้นทีละน้อยจากแรงเสียดทานที่ผิวของพื้นอุโมงค์ลม ซึ่งถูกทำให้มีสภาพขรุขระ และมีผลทำให้ลมจำลองที่เกิดขึ้นมีพฤติกรรมใกล้เคียงกับลมตามธรรมชาติ ณ บริเวณที่ตั้งโครงการ

นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มหุ่นจำลองของอาคารข้างเคียง (Proxinity Model) ในบริเวณโดยรอบอาคารที่พิจารณา เพื่อศึกษาผลกระทบจากอาคารดังกล่าว อันจะทำให้แรงดันลมที่เกิดขึ้นบนอาคารที่พิจารณาเปลี่ยนแปลงไป

ประเภทของอุโมงค์ลม

อุโมงค์ลม ซึ่งใช้ในการทดสอบสำหรับงานวิศวกรรมโครงสร้างนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท คือ

1. อุโมงค์ลมสำหรับการทดสอบทางด้านการบิน (Aeronautical Tunnels) ลักษณะของลมจำลองที่ใช้จะเป็นลมที่มีความเร็วสม่ำเสมอไม่เกิดสภาพการไหลวน จึงไม่เหมาะสำหรับการทดสอบโครงสร้าง ซึ่งอยู่ในช่วงบาวดารี่เลเยอร์ ยกเว้นการทดสอบซึ่งลมที่กระทำต่อโครงสร้างที่พิจารณามีความเร็วต่ำ จนผลของการไหลวนมีค่าน้อยมากและไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณา

2. อุโมงค์ลมช่วงยาว (Long Tunnels) ลักษณะของลมจำลองที่ใช้จะมีลักษณะของการไหลวนตามที่เกิดขึ้นจริงตามธรรมชาติ โดยที่บาวดารี่เลเยอร์จะถูกสร้างขึ้นจากผลของแรงเสียดทานที่ผิวพื้นอุโมงค์ ซึ่งถูกจำลองให้มีสภาพสอดคล้องกับสภาพภูมิประเทศจริง โดยการใช้บล็อคสี่เหลี่ยมขนาดเล็กติดตั้งไว้บนพื้น

3. อุโมงค์ที่มีอุปกรณ์แบบพาสสีฟ (Tunnels with Passive Devices) ลมจำลองจะเป็นลมไหลวนเช่นเดียวกับอุโมงค์ลมช่วงยาว หากแต่ว่าบาวดารี่เลเยอร์ จะถูกสร้างขึ้นจากการที่ลมพัดผ่านอุปกรณ์ต่างๆ เช่น กริด (Grids), เฟนส์ (Fences) และ สไปร์ (Spires) ซึ่งถูกนำไปติดตั้งไว้ที่บริเวณต้นลม

4. อุโมงค์ที่มีอุปกรณ์แบบแอคทีฟ (Tunnels with Active Devices) บาวดารี่เลเยอร์จะถูกสร้างขึ้นจากต้นกำเนิดลม โดยอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ ได้แก่ เจ็ต (Jets) และอุปกรณ์ปรับชัตเตอร์ (Shutters) และ Flaps) อุปกรณ์เหล่านี้จะทำให้สามารถปรับค่าความเร็วลมเฉลี่ยและความแรงของการไหลวนได้โดยอิสระต่อกัน ทำให้สะดวกในการปรับบาวดารี่เลเยอร์ เพื่อให้ได้ตามต้องการ

ประเภทของแบบจำลอง

แบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบภายในอุโมงค์ลม สามารถจำแนกตามวัตถุ ประสงค์ในการทดสอบได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. แบบจำลองแบบแข็ง (Rigid Model) ใช้ในการทดสอบเพื่อหาค่าผลของแรงลมที่กระทำต่อโครงสร้าง ในรูปของแรง, โมเมนต์ และความดันอันจะนำไปสู่การออกแบบโครงสร้างให้มีความแข็งแรงเพียงพอ

2. แบบจำลองแบบยืดหยุ่น (Aeroelastic Model) ใช้ในการทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองของโครงสร้างต่อแรงลม ในรูปของการเคลื่อนที่และการสั่นสะเทือน

แบบจำลองทั้ง 2 ประเภทข้างต้น หากพิจารณาในลักษณะของอัตราส่วน ยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. แบบจำลองขนาดเท่าของจริง (Full Scale Model) และ
2. แบบจำลองย่อส่วน (Scale Model)

ซึ่งแบบจำลองย่อส่วน ยังสามารถแบ่งออกได้ตามลักษณะของการย่อส่วนเป็น 2 ชนิด คือ

2.1 แบบจำลองเต็มส่วน ซึ่งใช้ทดสอบในลักษณะ 3 มิติ

2.2 แบบจำลองบางส่วน ซึ่งใช้ทดสอบในลักษณะ 2 มิติ

ข้อกำหนดทางด้านความคล้ายคลึงกัน (Similarity Requirements)

จากการศึกษาทางด้านอากาศพลศาสตร์ พบว่าแรงลมที่เกิดขึ้นบนโครงสร้าง ซึ่งรวมถึงแรงที่เกิดขึ้นจากการกระตุ้นในตัวโครงสร้างเองนั้นด้วย จะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของลมที่พัดเข้าสู่ตัวโครงสร้างนั้น นั่นคือลักษณะของการแปรเปลี่ยนความเร็วลมตามความสูงจากระดับพื้นดิน และความแปรปรวนของลมตลอดจนลักษณะของตัวโครงสร้างเอง

เพื่อให้ผลที่ได้รับจากการทดสอบในอุโมงค์ลม สามารถเป็นตัวแทนของผลที่เกิดขึ้นในสภาพจริงได้ จึงได้มีการตั้งข้อกำหนดทางด้านความคล้ายคลึงกันขึ้นในอันที่จะควบคุมตัวประกอบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องให้มีความสอดคล้องกันทั้งในตัวต้นแบบและแบบจำลอง

พิจารณาแบบจำลองในตัวกลางที่เป็นของไหล และสมมุติให้แรงที่เกิดขึ้นบนแบบจำลอง, F มีค่าขึ้นกับค่าความหนาแน่นของของไหล, ρ ค่าความเร็วของของไหล, U มิติของแบบจำลอง, D และค่าความถี่ธรรมชาติของแบบจำลอง, n

ดังนั้นสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้เป็น

$$F = F(\rho, U, D, n) \quad d \quad \rho^{\alpha} U^{\beta} D^{\gamma} n^{\delta} \tag{3-1}$$

โดยที่ d แสดงถึงการเท่ากันทางด้านขนาดเท่านั้น

α, β, γ, และ δ คือตัวแปรยกกำลังที่จะต้องทำการกำหนดค่า กำหนดให้ M, L และ T แทนมวล, มิติและเวลาสำหรับแบบจำลองตามลำดับ ดังนั้นสมการที่ (3-1) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$F \quad d \quad ML/T^2 = (M/L^3)^{\alpha} (L/T)^{\beta} (L)^{\gamma} (1/T)^{\delta} \tag{3-2}$$

จากการเปรียบเทียบค่าของ M, L, และ T ทางซ้ายมือและขวามือของสมการที่ (3-2) จะได้ว่า $M = M^{\alpha}$

ดังนั้น
$$1 = \alpha \tag{3-3}$$
$$L = (1/L^3)^{\alpha} (L)^{\beta} (L)^{\gamma}$$
$$= (L^{-3\alpha}) (L)^{\beta} (L)^{\gamma}$$
$$= L^{-3\alpha - \beta + \gamma}$$

ดังนั้น
$$1 = -3\alpha + \beta + \gamma \tag{3-4}$$
$$1/T^2 = (1/T)^{\beta} (1/T)^{\delta}$$
$$T^{-2} = (T)^{-\beta} (T)^{-\delta}$$
$$= T^{-\beta-\delta}$$

ดังนั้น
$$-2 = -\beta-\delta \tag{3-5}$$

โดยการหาค่าตัวแปรยกกำลัง α, β และ γ ในเทอมของ δ จากสมการที่ (3-3), (3-4) และ (3-5) จะได้

$$\left.\begin{aligned} \alpha &= 1 \\ \beta &= 2-\delta \\ \gamma &= 2+\delta \end{aligned}\right\} \tag{3-6}$$

และ $F \quad d \quad \rho U^{2-\delta} D^{2+\delta} n^{\delta} = \rho U^2 D^2 (Dn/U)^{\delta}$ (3-7)

จากสมการที่ (3-7) จะพบว่าแรงที่เกิดขึ้นบนแบบจำลองจะมีค่าขึ้นอยู่กับค่าความดันพลวัต, ค่ายกกำลังสองของมิติของแบบจำลอง และค่าความถี่ลดรูป (Reduced Frequency) หรือตัวเลขเสตราฮาล (Strouhal Number) Dn/U หรือค่าความเร็วลดรูป (Reduced Velocity) U/Dn

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หากพิจารณาต่อไปโดยสมมุติว่าที่เกิดขึ้นบนแบบจำลอง F, มีค่าขึ้นกับค่าความหนาแน่นของของไหล, ρ ค่าความเร็วของของไหล, U, มิติของแบบจำลอง, D, ค่าความถี่ธรรมชาติของแบบจำลอง, n และค่าความหนืดของของไหล, μ จะได้ความสัมพันธ์

$$F = F(\rho, U, D, n, \mu) \quad d \quad \rho^{\alpha} U^{\beta} D^{\gamma} n^{\delta} \mu^{\varepsilon} \qquad (3\text{-}8)$$

โดยที่ $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ และ ε คือ ตัวแปรยกกำลังที่จะต้องทำการกำหนดค่า จากการกำหนดให้ M, L, T แทนมวล, มิติและเวลาสำหรับแบบจำลอง สมการที่ (3-8) สามารถเขียนได้เป็น

$$F \quad d \quad ML/T^2 \quad d \quad (M/L^3)^{\alpha} (L/T)^{\beta} (L)^{\gamma} (1/T)^{\delta} (M/LT)^{\varepsilon} \qquad (3\text{-}9)$$

และจากการเปรียบเทียบค่าของ M, L และ T ทางซ้ายมือและขวามือของสมการที่ (3-9) พบว่า

$$M = (M)^{\alpha} (M)^{\varepsilon}$$
$$= M^{\alpha + \varepsilon}$$

ดังนั้น
$$1 = \alpha + \varepsilon \qquad (3\text{-}10)$$

$$L = (1/L^3)^{\alpha} (L)^{\beta} (L)^{\gamma} (1/L)^{\varepsilon}$$
$$= (L^{-3\alpha}) (L)^{\beta} (L)^{\gamma} (L)^{-\varepsilon}$$
$$= L^{-3\alpha + \beta + \gamma - \varepsilon}$$

ดังนั้น
$$1 = -3\alpha + \beta + \gamma - \varepsilon \qquad (3\text{-}11)$$

$$1/T^2 = (1/T)^{\beta} (1/T)^{\delta} (1/T)^{\varepsilon}$$
$$T^{-2} = (T)^{-\beta} (T)^{-\delta} (T)^{-\varepsilon}$$

ดังนั้น
$$-2 = -\beta - \delta - \varepsilon \qquad (3\text{-}12)$$

โดยการหาค่าของตัวแปรยกกำลัง α, β, และ γ ในเทอมของ δ และ ε จากสมการที่ (3-10). (3-11) และ (3-12) จะได้

$$\left.\begin{aligned} \alpha &= 1 - \varepsilon \\ \beta &= 2 - \delta - \varepsilon \\ \gamma &= 2 + \delta - \varepsilon \end{aligned}\right\} \qquad (3\text{-}13)$$

$$F \quad d \quad \rho^{1-\varepsilon} U^{2-\delta-\varepsilon} D^{2-\delta-\varepsilon} n^{\delta} \mu^{\varepsilon} = \rho U^2 D^2 (Dn/U)^{\delta} (\mu/\rho UD)^{\varepsilon} \qquad (3.\text{-}14)$$

จากสมการที่ (3-14) จะพบว่าแรงที่เกิดขึ้นบนแบบจำลองนอกจากจะขึ้นกับค่าความดันพลวัต, 1/2 ρU^2, ค่ายกกำลังสองของมิติของแบบจำลอง D^2 และค่าความถี่ลด รูป Dn/U แล้วยังขึ้นกับค่า $\mu/\rho UD$ อีกด้วย .

อัตราส่วนกลับของ $\mu/\rho UD$ หรือ $\rho UD/\mu$ เรียกว่าตัวเลขเรโนลด์ (Reynolds Number) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในทางอากาศพลศาสตร์เป็นอย่างมาก โดยเป็นค่าที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉื่อยและความหนืดของของไหล

จากสมการที่ (3-7) และสมการที่ (3-14) สามารถสรุปข้อกำหนดที่จำเป็นเพื่อให้เกิดความคล้ายคลึงกันระหว่างแบบจำลองและต้นแบบ ได้ดังนี้

1. ข้อกำหนดทางด้านเรขาคณิต (Geometric Requirements) โดยการควบคุมมิติ, D ของแบบจำลองและต้นแบบให้สอดคล้องกัน

2. ข้อกำหนดทางด้านคิเนเมติก (Kinematic Requirements) โดยการควบคุมค่าความเร็วลดรูป, U/Dn ของแบบจำลองและต้นแบบให้สอดคล้องกัน

3. ข้อกำหนดทางด้านพลศาสตร์ (Dynamic Requirements) โดยการควบคุมค่าตัวแปร เรโนลด์ของแบบจำลองและต้นแบบให้สอดคล้องกัน

อย่างไรก็ดีในทางปฏิบัติแล้วเป็นการยากที่จะควบคุมให้เกิดความคล้ายคลึงพร้อมกันทั้งทางด้านเรขาคณิต, ด้านคิเนอเมติกและด้านจลนะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าตัวเลขเรโนลด์นั้นเป็นไปได้ยากมากที่จะควบคุมให้มีความสอดคล้องกันทั้งในแบบจำลองและต้นแบบ ดังนั้นการควบคุมข้อกำหนดทางด้านเรขาคณิตและด้านคิเนอเมติก ซึ่งก็คือการควบคุมอัตราย่อส่วนของตัวประกอบพื้นฐานได้แก่ มิติ D, เวลา t และความเร็ว Uระหว่างแบบจำลองและต้นแบบ จึงเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่าเพียงพอโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการทดสอบแบบจำลองอาคารสูงที่มีมุมแหลม เนื่องจากค่าเรโนลด์จะมีผลต่อพฤติกรรมของอาคารน้อยมาก

อัตราการย่อส่วนของตัวประกอบพื้นฐาน

1. อัตราการย่อส่วนทางด้านมิติ (Dimension Scaling), λL

$$\lambda L = Lm/Lp \qquad (3\text{-}15)$$

โดยที่ Lm คือ มิติของแบบจำลอง และ

Lp คือ มิติของต้นแบบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. อัตราการย่อส่วนทางด้านเวลา (Time Scaling), λT

$$\lambda T = Tm/Tp \qquad (3\text{-}16)$$

โดยที่ Tm คือ เวลาที่ใช้สำหรับแบบจำลอง

Tp คือ เวลาที่ใช้สำหรับต้นแบบ

3. อัตราการย่อส่วนทางด้านความเร็ว (Velocity Scaling), λv

$$\lambda v = Vm/Vp \qquad (3\text{-}17)$$

โดยที่ Vm คือ ความเร็วสำหรับแบบจำลอง

$= Lm/Tm$

Vp คือ ความเร็วสำหรับต้นแบบ

$= Lp/Tp$

ดังนั้น $\lambda v = (Lm/Tm) / (Lp/Tp)$

$= (Lm/Lp) / (Tp/Tm)$

$= (Lm/Lp) / (Tm/Tp)$

$$\lambda v = \lambda L/\lambda T \qquad (3\text{-}18)$$

อัตราการย่อส่วนทางด้านมิติมักจะถูกกำหนดขึ้นจากความเหมาะสมของขนาดของแบบจำลองเปรียบเทียบกับขนาดพื้นที่หน้าตัดของอุโมงค์ลม ซึ่งปกติจะมีค่าระหว่าง 1 : 400 ถึง 1 : 500 ในขณะที่อัตราการย่อส่วนทางด้านความเร็ว จะพิจารณาใช้สัดส่วนระหว่างความเร็วลมสูงสุดของแหล่งกำเนิดลม และความเร็วลมสูงสุดที่ระดับความสูงอ้างอิงสำหรับคาบการกลับที่ 50 ปี หรือ 100 ปี

เนื่องจาก $\lambda T = \lambda L / \lambda V$

และ $\lambda T = Tm / Tp$

ดังนั้น เวลาที่ต้องการสำหรับแบบจำลอง, Tm สามารถหาได้จาก

$$Tm = (\lambda L / \lambda V) \times Tp \qquad (3\text{-}19)$$

สำหรับความเร็วลมอ้างอิงที่มาจากข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมงค่าของเวลาสำหรับต้นแบบ, Tp จะมีค่าเป็น 1 ชั่วโมง หรือ 3600 วินาที ดังนั้นจะได้

$$Tm = (\lambda L / \lambda V) \times 3600 \quad \text{วินาที} \qquad (3\text{-}20)$$

ค่าของ Tm ที่ได้จากสมการ (3-20) จะถูกนำไปใช้ในการกำหนดจำนวนของข้อมูลและระยะเวลาในการเก็บข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบ เพื่อให้สอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากช่วงเวลา 1 ชั่วโมงในสภาพจริง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าสัมประสิทธิ์ความดันลม

ค่าสัมประสิทธิ์ความดันลมเป็นค่าที่ไร้หน่วย โดยเป็นอัตราส่วนของค่าความดันลมที่ระดับใดๆ ต่อค่าความดันลมพลวัตที่ระดับอ้างอิง สำหรับการทดสอบภายในอุโมงค์ลม ค่าความดันลมที่ระดับใดๆ บนแบบจำลอง จะถูกทำให้เป็นค่าที่ไร้หน่วยด้วยการหารด้วยค่าความดันลมพลวัต ซึ่งวัดที่ระดับความสูงเกรเดียนต์ของบาวดารี่เลเยอร์ภายในอุโมงค์ลม

ค่าสัมประสิทธิ์ความดันลมสามารถนิยามได้ดังนี้

1. ค่าสัมประสิทธิ์ความดันลมสูงสุด, C_{PMAX}

$$C_{PMAX} = (P_{MAX} - Po) / q \quad (3\text{-}21)$$

2. ค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมดูดสูงสุด, C_{PMIN}

$$C_{PMIN} = (P_{MIN} - Po) / q \quad (3\text{-}22)$$

3. ค่าสัมประสิทธิ์ความดันลมเฉลี่ย, P_{MEAN}

$$C_{PMEAN} = (P_{MEAN} - Po) / q \quad (3\text{-}23)$$

โดยที่ P_{MAX} คือ ค่าความดันลมสูงสุดที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา Tm ณ ตำแหน่งที่ทำการวัดความดัน

P_{MIN} คือ ค่าความดันลมต่ำสุดที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา Tm ณ ตำแหน่งที่ทำการวัดความดัน

P_{MEAN} คือ ค่าความดันลมเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา Tm ณ ตำแหน่งที่ทำการวัดความดัน

Po คือ ค่าความดันลมสถิตย์

q คือ ความดันลมพลวัตที่ระดับความสูงเกรเดียนต์ ของบาวดารี่เลเยอร์ภายในอุโมงค์ลม = $1/2\ \rho V^2$

V คือ ความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับความสูงเกรเดียนต์ภายในอุโมงค์ลม

ρ คือ ค่ามวลของอากาศภายในอุโมงค์ลม

ค่าสัมประสิทธิ์ความดันลมสูงสุดเฉลี่ย และค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมดูดสูงสุดเป็นค่าที่มีเครื่องหมาย โดยที่ค่าบวกจะแสดงถึงความดันในทิศทางเข้าหาผิวของแบบจำลอง ส่วนค่าลบแสดงถึงความดันในทิศทางออกจากผิวของแบบจำลอง สำหรับการวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะค่าสัมประสิทธิ์ความดันลมสูงสุดและค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมดูดสูงสุดเท่านั้น

การทดสอบแบบจำลองแบบแข็งโครงการอาคาร JEWELRY TRADE CENTER

1. รายละเอียดและตำแหน่งที่ตั้งของโครงการอาคาร

อาคาร JEWELRY TRADE CENTER เป็นอาคารประเภทอาคารสำนักงาน และศูนย์การค้า ตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของสี่แยกมเหสักข์ ซึ่งเป็นจุดตัดของถนนสีลมและถนนสุรศักดิ์ บริเวณใจกลางเมืองกรุงเทพมหานคร โครงการประกอบด้วยส่วนของอาคารสูงขนาดกว้าง 26.8 เมตร ยาว 60.2 เมตร สูง 221.1 เมตร และส่วนของศูนย์การค้าพร้อมที่จอดรถความสูง 65.7 เมตร

ทางทิศตะวันตกของบริเวณที่ตั้งโครงการเป็นอาคารของโรงแรมฮอลิเดย์ อินน์ ความสูง 81 เมตร และอาคารฮอลิเดย์ อินน์ คราวน์ พลาซ่า ความสูง 70 เมตร ทางด้านทิศตะวันออกมีโครงการที่จะสร้างอาคารสูง ขนาด 120 เมตร ในระยะห่างประมาณ 60 เมตร จากบริเวณที่ตั้งโครงการ ส่วนทางด้านทิศเหนือและทิศใต้จะเป็นกลุ่มของอาคารขนาดความสูง 4-7 ชั้น โดยที่อาคารทางด้านทิศเหนือที่มีความสูงมากที่สุด คืออาคารสำนักงานของธนาคาร มีความสูง 67 เมตร ส่วนอาคารทางด้านทิศใต้ที่มีความสูงมากที่สุดคือ อาคารศูนย์การค้ามีความสูง 40 เมตร

2. การเตรียมแบบจำลองของโครงการและบริเวณโดยรอบโครงการ

เมื่อพิจารณาจากขนาดพื้นที่หน้าตัดและความยาวของอุโมงค์ลมของภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย อัตราการย่อส่วนทางด้านมิติของแบบจำลองและบริเวณโดยรอบโครงการที่เหมาะสม ควรมีค่าเป็น 1 : 400 อาคาร JEWELRY TRADE CENTER รวมถึงอาคารโดยรอบภายในรัศมี 300 เมตร ที่มีความสูงมากกว่า 80 เมตร จะถูกย่อส่วนโดยมีรายละเอียดภายนอกตามความเป็นจริง ในขณะที่อาคารขนาดความสูงต่ำกว่า 80 เมตร ซึ่งโดยทั่วไปได้แก่อาคารขนาดความสูง 4 - 7 ชั้น จะถูกจำลองให้มีสภาพเป็นกล่องสี่เหลี่ยมในลักษณะต่อเนื่องกันครอบคลุมพื้นที่ที่พิจารณา ดังแสดงในรูปที่ 3-8

แบบจำลองทั้งหมดได้รับการทำขึ้นจากไม้บัลซาร์ ซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับการสร้างแบบจำลองที่มีขนาดเล็ก ที่ต้องการความละเอียดสูง จุดวัดความดันจำนวนทั้งหมด 298 จุด จะถูกติดตั้งบนพื้นผิวโดยรอบของแบบจำลอง โดยแบ่งระดับชั้นในการติดตั้งเป็น 7 ระดับ คือระดับชั้น A ถึง G โดยมีจุดวัดความดันจำนวน 42 จุดในแต่ละระดับชั้น มีตำแหน่งในการติดตั้งดังแสดงในรูปที่ 3-6 ถึงรูปที่ (3-7

3. การจำลองสภาพลมบริเวณที่ตั้งโครงการ

จากการที่โครงการตั้งอยู่ในบริเวณใจกลางของกรุงเทพมหานคร ซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้กับสภาพภูมิประเทศใจกลางเมืองใหญ่ จากข้อกำหนดของ ANSI A58.1-1982 หรือสภาพภูมิประเทศที่มีสิ่งกีดขวางขนาดใหญ่จำนวนมากกระจายอยู่ ตามข้อกำหนดของ Davenport [9] ค่าความสูงเกรเดียนต์และค่าตัวเลขยกกำลัง จะมีค่าอยู่ระหว่าง 400-500 เมตร และ 0.25-0.40 ตามลำดับ โดยการกำหนดให้ความสูงเกรเดียนต์มีค่าเป็น 460 ม. และตัวเลขยกกำลังมีค่าเป็น 0.34 จากสมการที่ (2-3) จะได้

$$U(Z_g) / G = (Z_g / 460)^{0.34} \qquad (3\text{-}23)$$

พิจารณาความเร็วลมสูงสุดสำหรับคาบการกลับที่ 50 ปี ในระดับความสูงประมาณ 200 เมตร ที่ระดับยอดอาคาร จากการศึกษาของหน่วยวิจัยแผ่นดินไหวและการสั่นสะเทือน [16, 17] พบว่าความเร็วลมสูงสุดสำหรับสภาพภูมิประเทศใจกลางเมืองใหญ่ที่ระดับความสูง 200 เมตร มีค่าเป็น 30.02 เมตร/วินาที

ดังนั้นจากสมการที่ (2-23) ความเร็วลมเกรเดียนต์สำหรับคาบการกลับที่ 50 ปี สำหรับสภาพภูมิประเทศใจกลางเมืองใหญ่ สามารถหาได้ดังนี้

$$G = U(Z_g)/ (Z_g/460)^{0.34}$$
$$= 40 \text{ เมตร/วินาที}$$

ดังนั้นสภาพลมบริเวณที่ตั้งโครงการสำหรับคาบการกลับที่ 50 ปี สามารถแสดงด้วยกฎยกกำลัง

$$U (Z_g) = 40 (Z_g/460)^{0.34} \text{ เมตร/วินาที} \qquad (3\text{-}24)$$

เนื่องจากอุโมงค์ลมที่ใช้ในการทดสอบจัดอยู่ในอุโมงค์ลมประเภทที่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์แบบพาสสีฟ เพื่อให้เกิดการก่อตัวของบาวดารี่เลเยอร์ ทำให้ต้องมีการติดตั้งสไปร์และบล๊อคสี่เหลี่ยมจัตุรัสขึ้นบนพื้นของอุโมงค์ลม โดยทำการติดตั้งไว้บนแผ่นไม้อัด ความสูงของสไปร์, ขนาดของบล๊อคและระยะทางในการวางบล๊อค จากช่วงต้นของอุโมงค์ลมถึงตำแหน่งที่ติดตั้งแบบ

จำลอง จะได้รับการปรับแก้ เพื่อให้ได้บาวดารี่เลเยอร์จำลองที่มีความสูงเกรเดียนต์ 115 เซนติเมตร ที่สอดคล้องกับความสูงเกรเดียนต์ 460 เมตร ในสภาพจริงและมีค่าตัวเลขยกกำลัง 0.34 ดังแสดงในรูปที่ 3-10

4. ช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลสำหรับการทดสอบ

จากสมการที่ (3-20)

$$Tm = (\lambda L / \lambda V) \times 3600$$

โดยการกำหนดให้ความเร็วลมจากแหล่งกำเนิดภายในอุโมงค์ลม

Vm = 6 เมตร/วินาที และ

Vp คือ ค่าความเร็วลมเกรเดียนท์สำหรับคาบการกลับ 50 ปี สำหรับสภาพภูมิประเทศใจกลางเมืองใหญ่ = 40 เมตร/วินาที

ดังนั้น เมื่อ $\lambda L = 1 : 400$

$$Tm = (1/400) / (6/40) \times 3600$$

$$= 60 \text{ วินาที} \qquad (3\text{-}25)$$

5. การทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความดันลม

หลักการทั่วไปในการวัดความดันลมที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของแบบจำลองก็คือ การให้ความดันลมที่เกิดขึ้นบนพื้นผิว กระทำกับอุปกรณ์แปลงสัญญาณ ซึ่งจะแปลงความดันลมให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าแบบอะนาลอก (Analog Signal) แล้วจึงแปลงสัญญาณไฟฟ้าแบบอะนาลอกไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าแบบดิจิตอล (Digital Signal)

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความดันลม ประกอบด้วย

1. จุดวัดความดัน (Pressure Taps) เป็นอุปกรณ์วัดความดันที่พื้นผิวของแบบจำลอง มีลักษณะเป็นท่อโลหะขนาดเล็กที่ติดตั้งฉากกับผิวของแบบจำลอง และมีท่อพลาสติกต่อไปยังอุปกรณ์แปลงสัญญาณ

2. หลอดพิโทต์ความดันสถิตย์ (Pitot Static Tube) เป็นอุปกรณ์วัดความดันเทียบกับความดันสถิตย์ที่ระดับความสูงอ้างอิง ซึ่งโดยปกติคือที่ระดับความสูงเกรเดียนต์ของบาวดารี่เลเยอร์จำลองภายในอุโมงค์ลม

3. เพรสเซอร์ทรานซ์ดิวเซอร์ (Pressure Transducer) เป็นอุปกรณ์ที่แปลงความดันที่ได้รับจากจุดวัดความดันให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าแบบอะนาลอก ความดันที่เกิดขึ้นที่จุดวัดความดันจะถูกส่งผ่านมายังเพรสเซอร์ทรานซ์ดิวเซอร์ โดยท่อพลาสติกที่ต่อเข้ากับจุดวัดความดัน

4. โซลินอยด์ คอนโทรลเลอร์ (Solenoid Controller) พร้อมแสกนนิวาวล์ (Scanivalve) เป็นอุปกรณ์ควบคุมและเลือกจุดวัดความดันให้ทำงานตามตำแหน่งที่ต้องการ

5. โลพาสฟิลเตอร์ (Low Pass Filter) เป็นอุปกรณ์กรองสัญญาณไฟฟ้าความถี่สูงออก

6. อุปกรณ์แปลงสัญญาณไฟฟ้าแบบอะนาลอกเป็นสัญญาณไฟฟ้าแบบดิจิตอล

7. ซิกนัลคอนดิชันเนอร์ (Signal Conditioner) เป็นอุปกรณ์ขยายสัญญาณไฟฟ้า

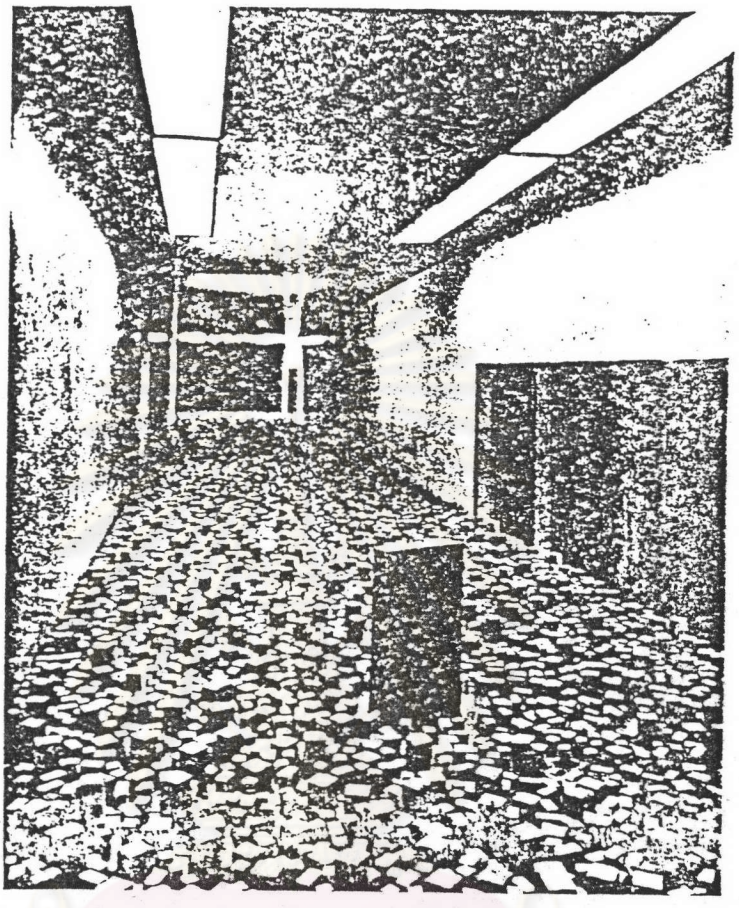
8. คอมพิวเตอร์ เป็นอุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูลและประมวลผล

การจัดอุปกรณ์วัดความดันได้แสดงไว้ในรูปที่ 3-11

การวัดความดันลมที่เกิดขึ้นบนผิวของแบบจำลอง จะกระทำทีละระดับชั้น คือระดับชั้น A ถึง G จนครบทั้ง 7 ระดับชั้น ในแต่ละทิศทางลมค่าความดันลมในแต่ละจุดวัดความดัน จะถูกหารด้วยค่าความดันลมพลวัต ซึ่งถูกบันทึกไว้เช่นเดียวกันโดยเป็นค่าความดันที่ได้จากหลอดพิโทต์ความดันสถิตย์ ซึ่งติดตั้งไว้ที่ความสูงเกรเดียนต์ ค่าสัมประสิทธิ์ความดันลมสูงสุดและต่ำสุดรวมทั้งความดันลมเฉลี่ย จะถูกบันทึกไว้ในแฟ้มข้อมูลของเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าแรงดันลมในภายหลังต่อไป

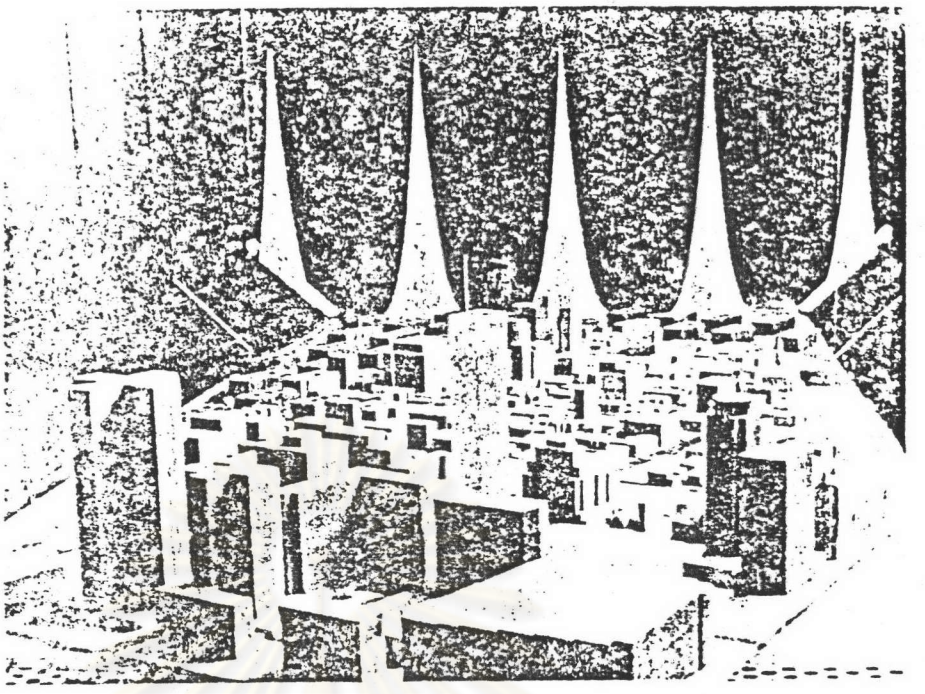
เนื่องจากในงานวิจัยนี้ จะพิจารณาเฉพาะค่าสัมประสิทธิ์ความดันลมสูงสุดและต่ำสุด เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าความดันลมสูงสุดและต่ำสุด ตามลำดับ ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ความดันลมเฉลี่ยจึงได้ถูกละไว้ไม่นำมาแสดง อย่างไรก็ตามค่าสัมประสิทธิ์ความดันลมเฉลี่ย สามารถอ้างอิงได้จาก Final Report on Wind Tunnel Studies of JEWELRY TRADE CENTER COMPLEX [18]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

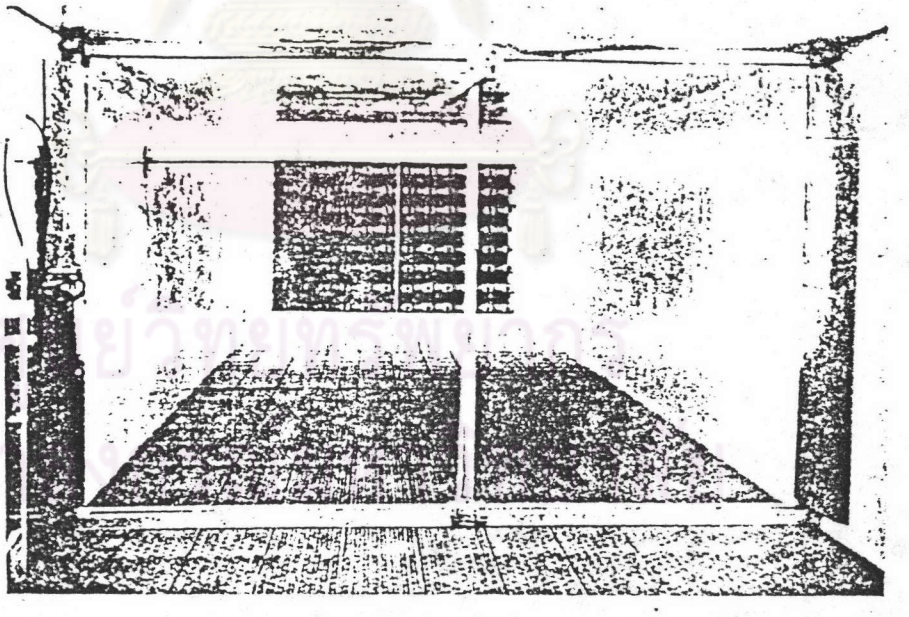


รูปที่ 3-1 อุโมงค์ลม [14]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

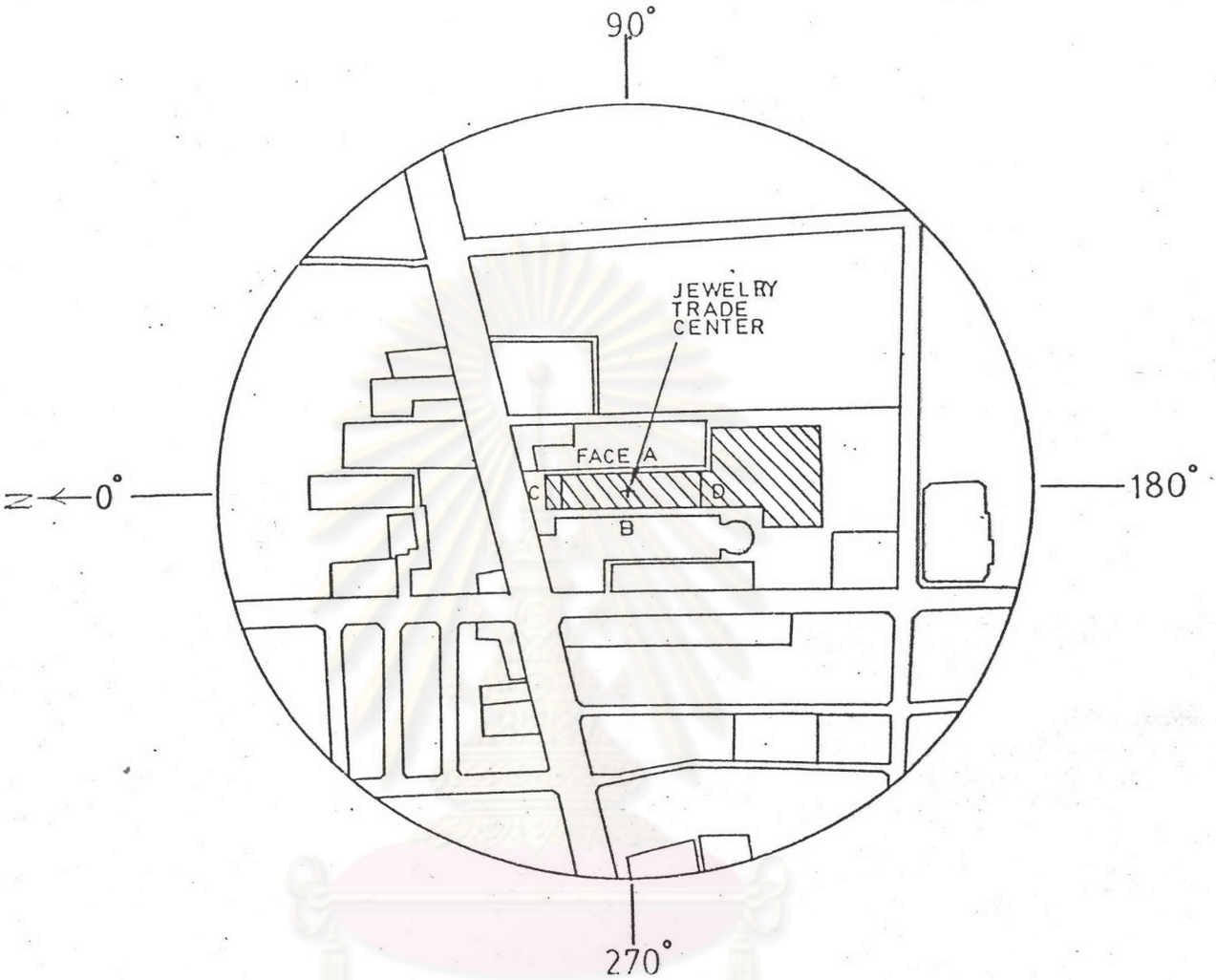


รูปที่ 3-2 อุโมงค์ลมที่มีอุปกรณ์แบบพาสสีฟ [14]



รูปที่ 3-3 อุโมงค์ลมที่มีอุปกรณ์แบบแอคทีฟ [14]

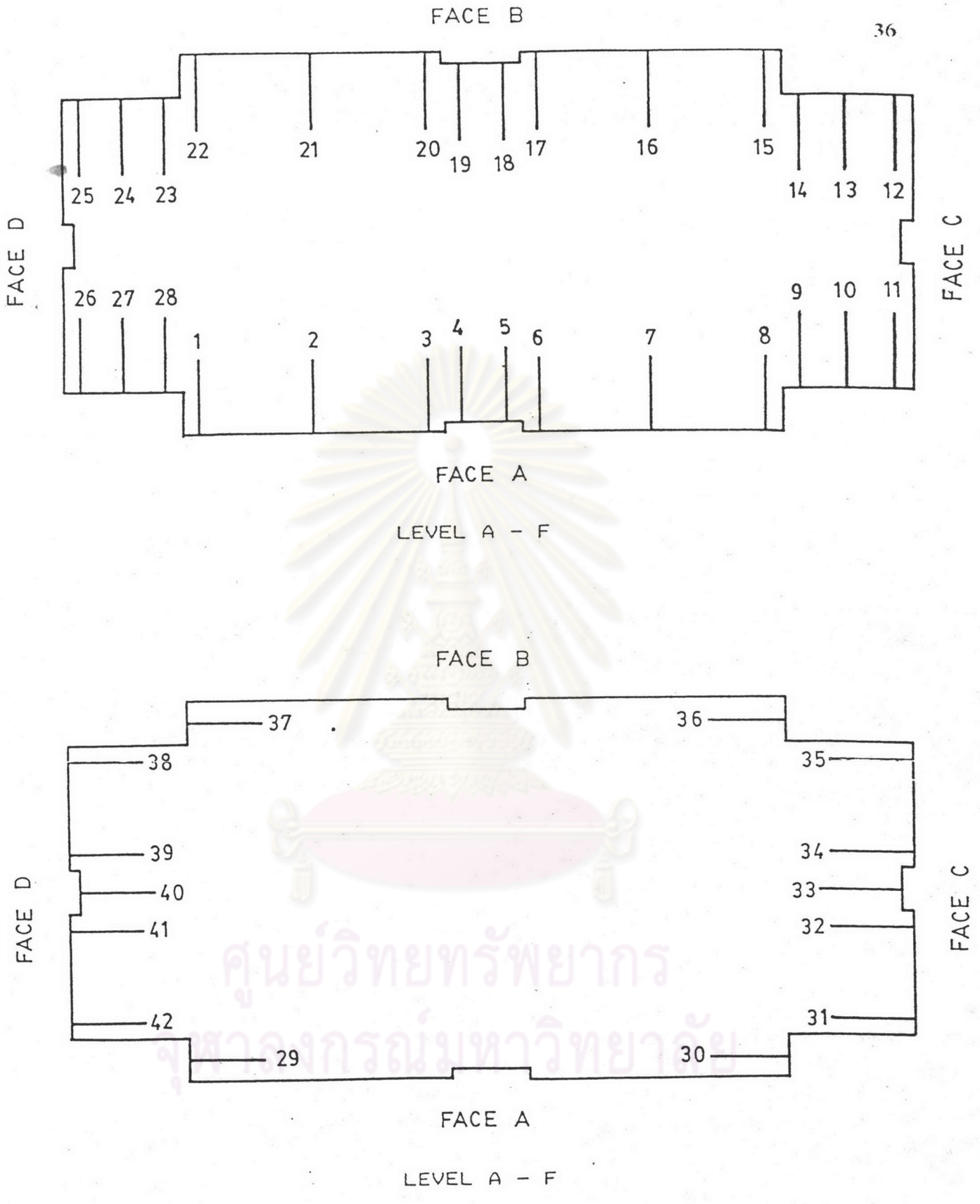
รูปที่ 3-4 ตำแหน่งที่ตั้งของโครงการอาคาร JEWELRY TRADE CENTER [18]



รูปที่ 3-5 แบบจำลองโครงการอาคาร JEWELRY TRADE CENTER และอาคารข้างเคียงภายในรัศมี 300 เมตร [18]

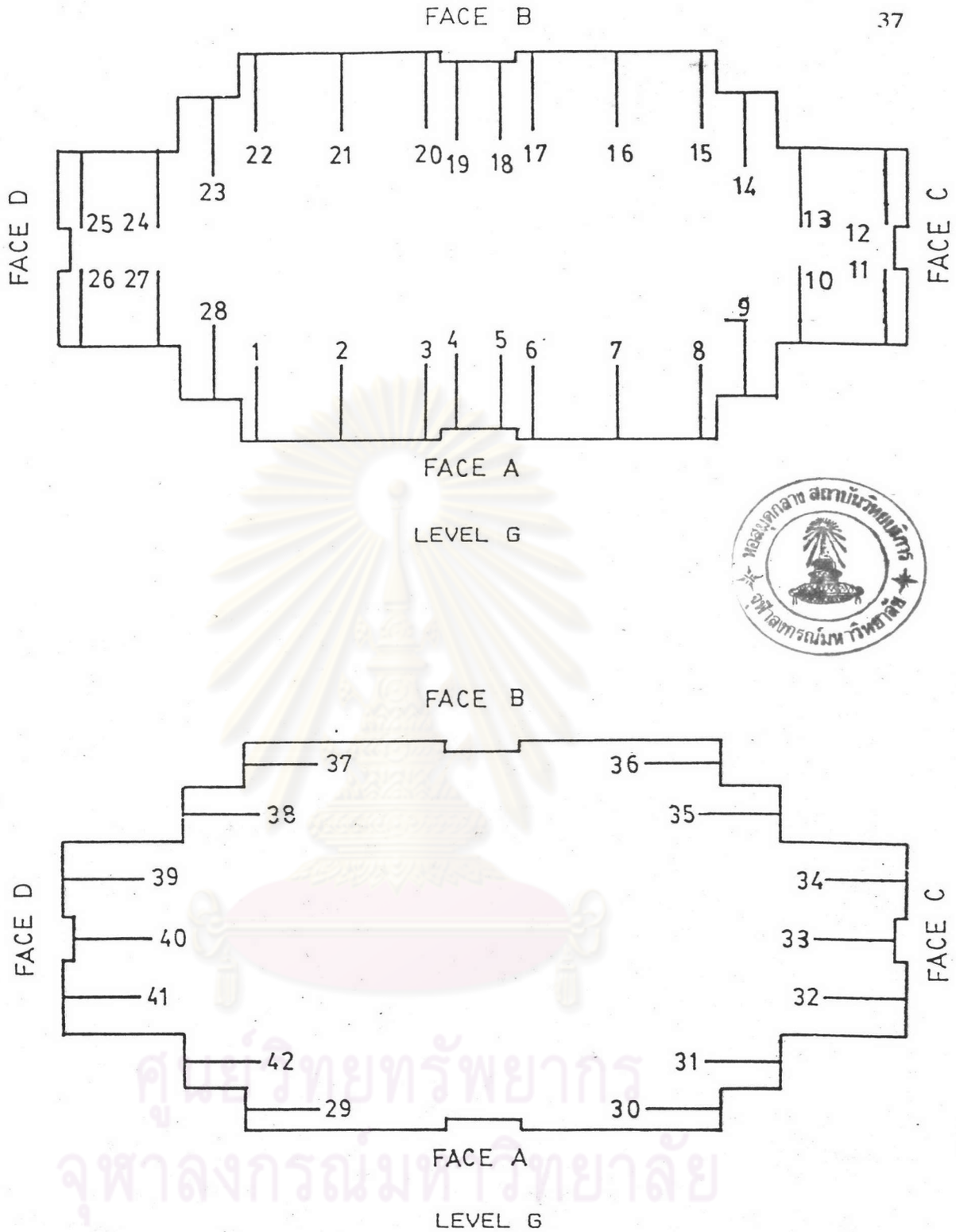
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I16697194



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

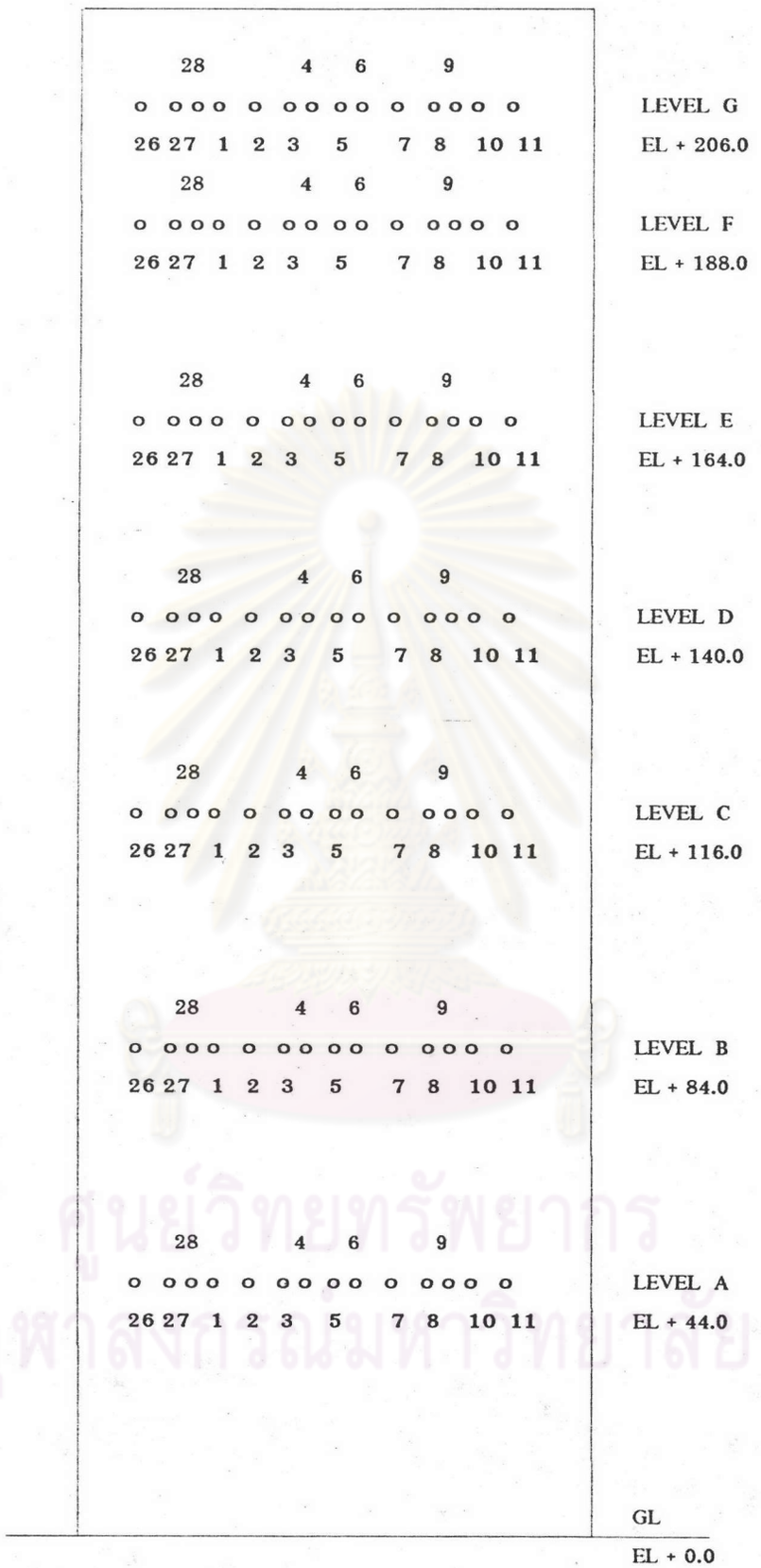
รูปที่ 3-6 ตำแหน่งการติดตั้งจุดวัดความดันลมสำหรับระดับชั้นความสูง A ถึง F [18]



หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

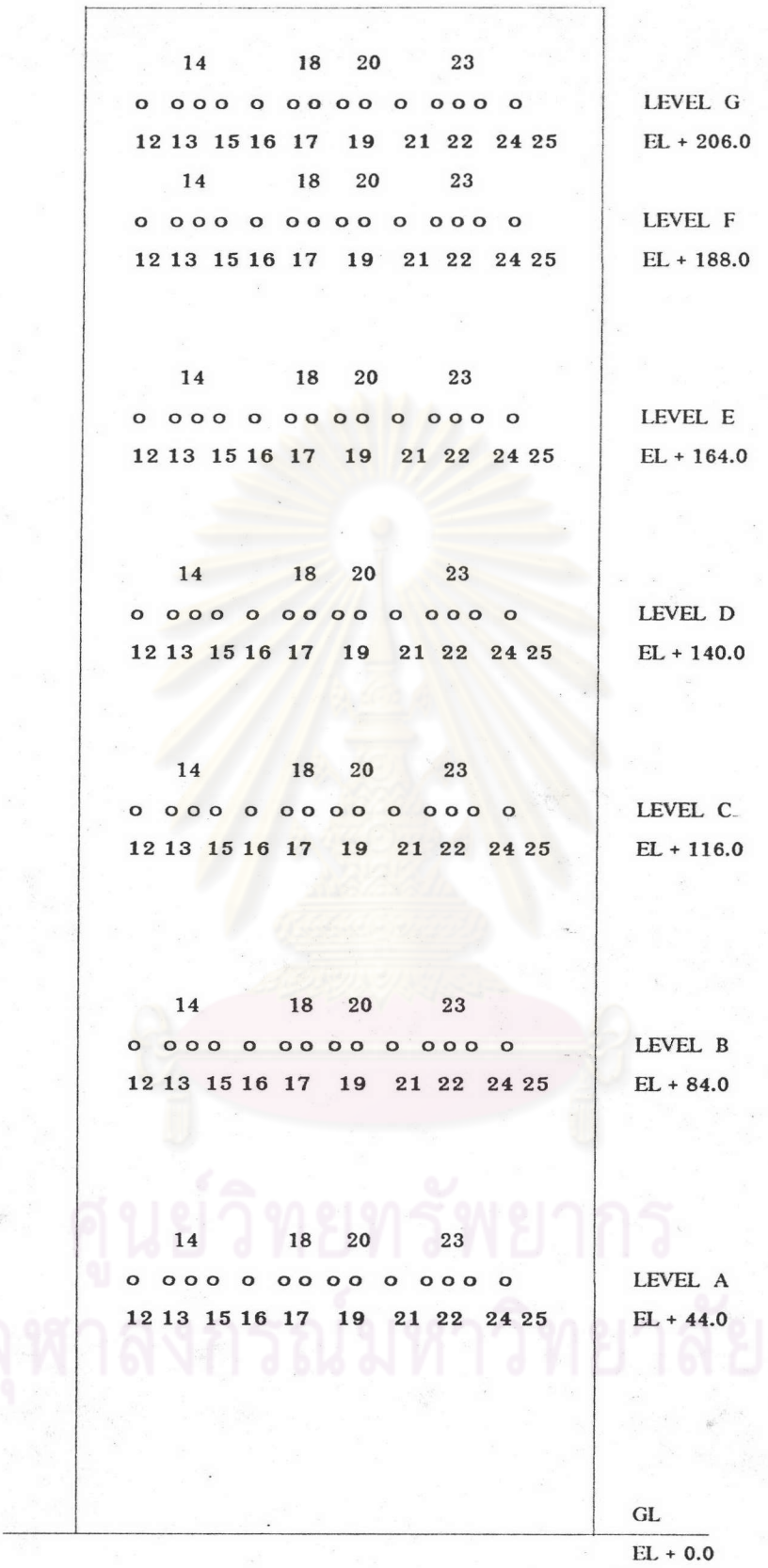
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3-7 ตำแหน่งการติดตั้งจุดวัดความดันลมสำหรับระดับชั้นความสูง G [18]



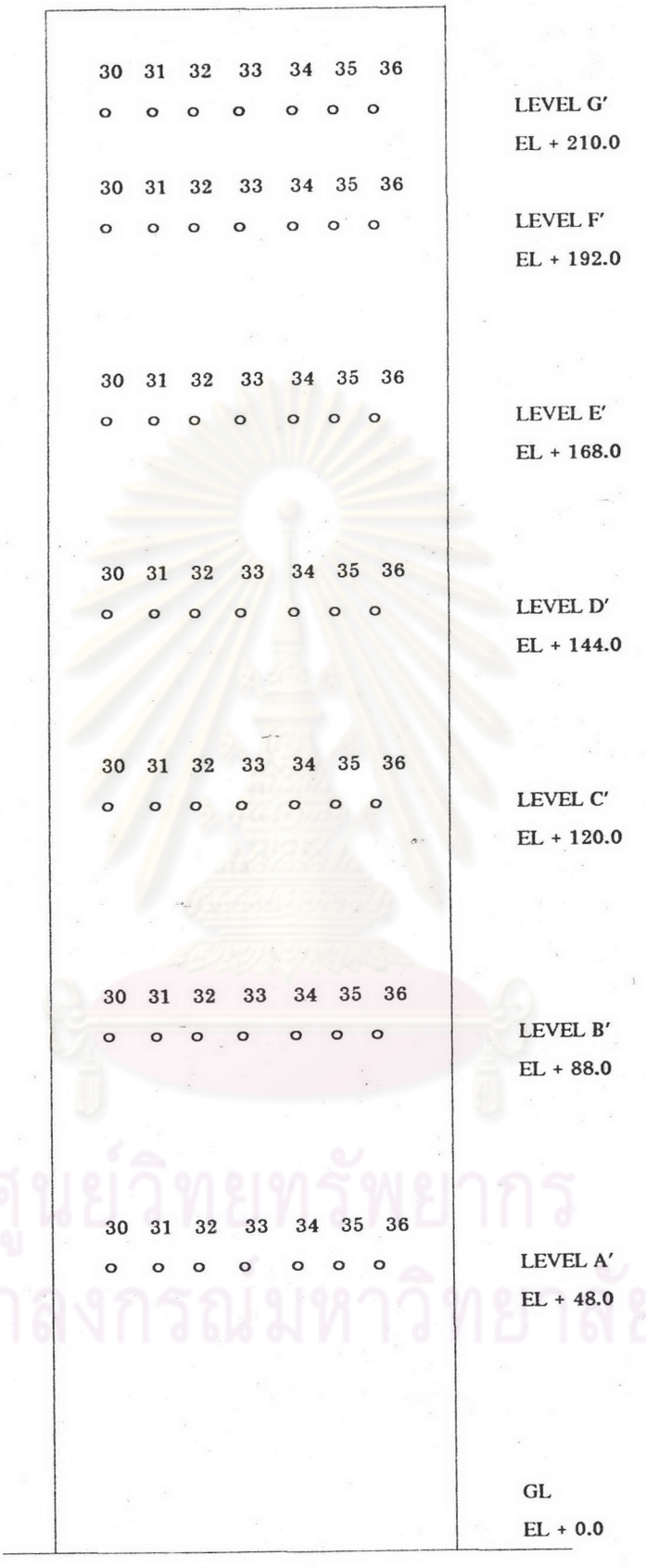
รูปที่ 3-7a ตำแหน่งการติดตั้งจุดวัดความดันลม ด้าน A

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



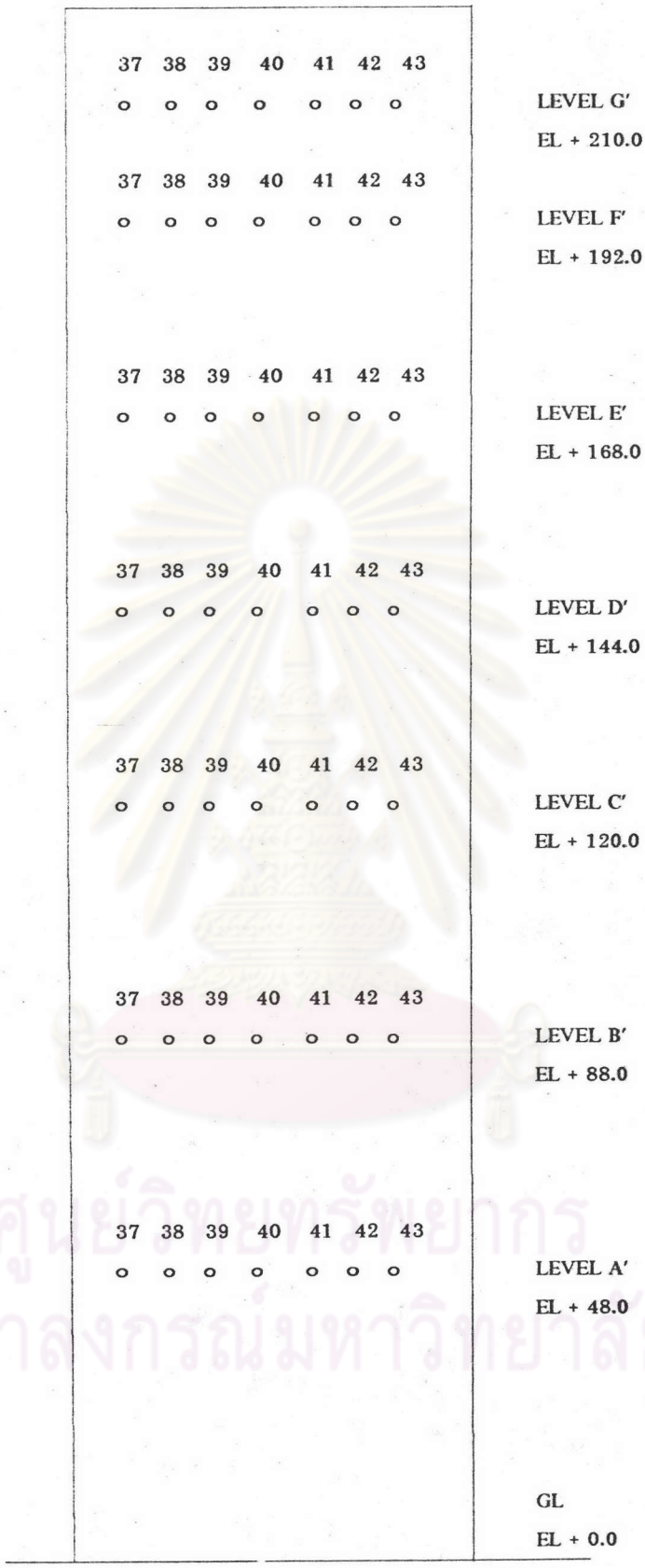
รูปที่ 3-7b ตำแหน่งการติดตั้งจุดวัดความดันลม ด้าน B

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



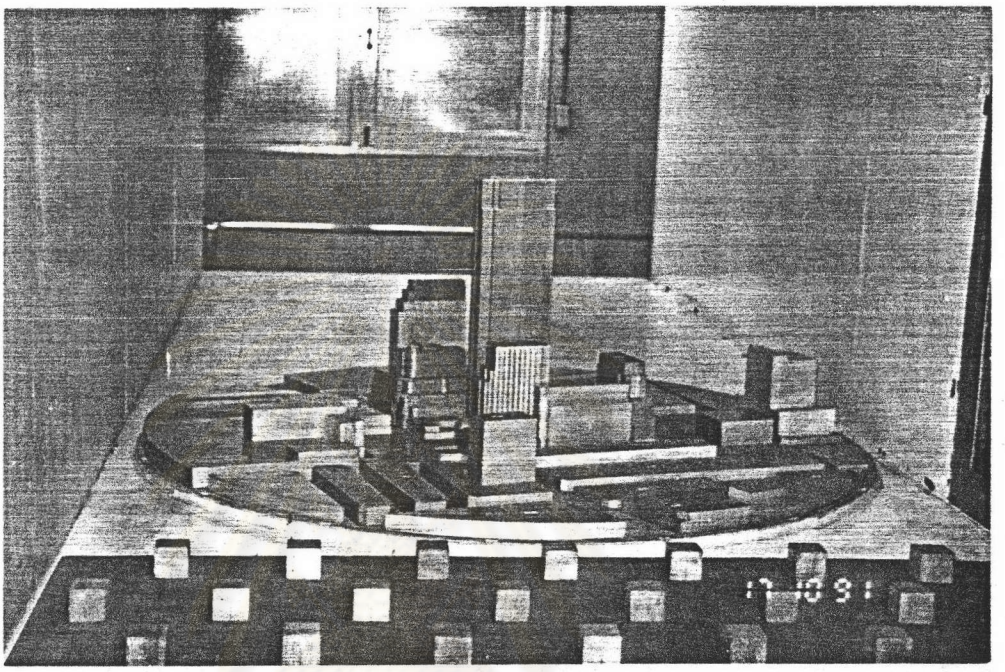
รูปที่ 3-7c ตำแหน่งการติดตั้งจุดวัดความดันลม ด้าน C

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



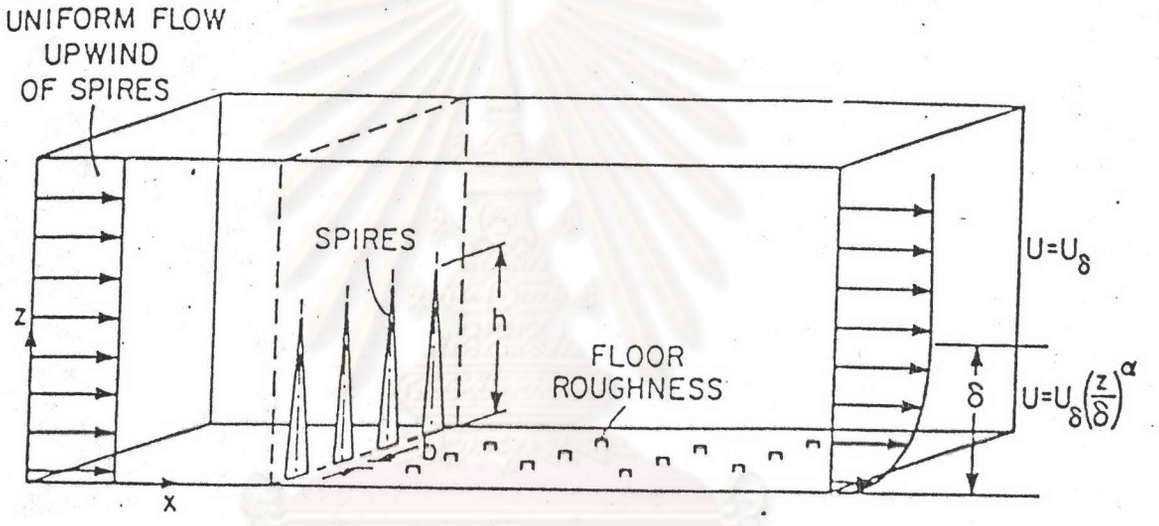
รูปที่ 3-7d ตำแหน่งการติดตั้งจุดวัดความดันลม ด้าน D

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



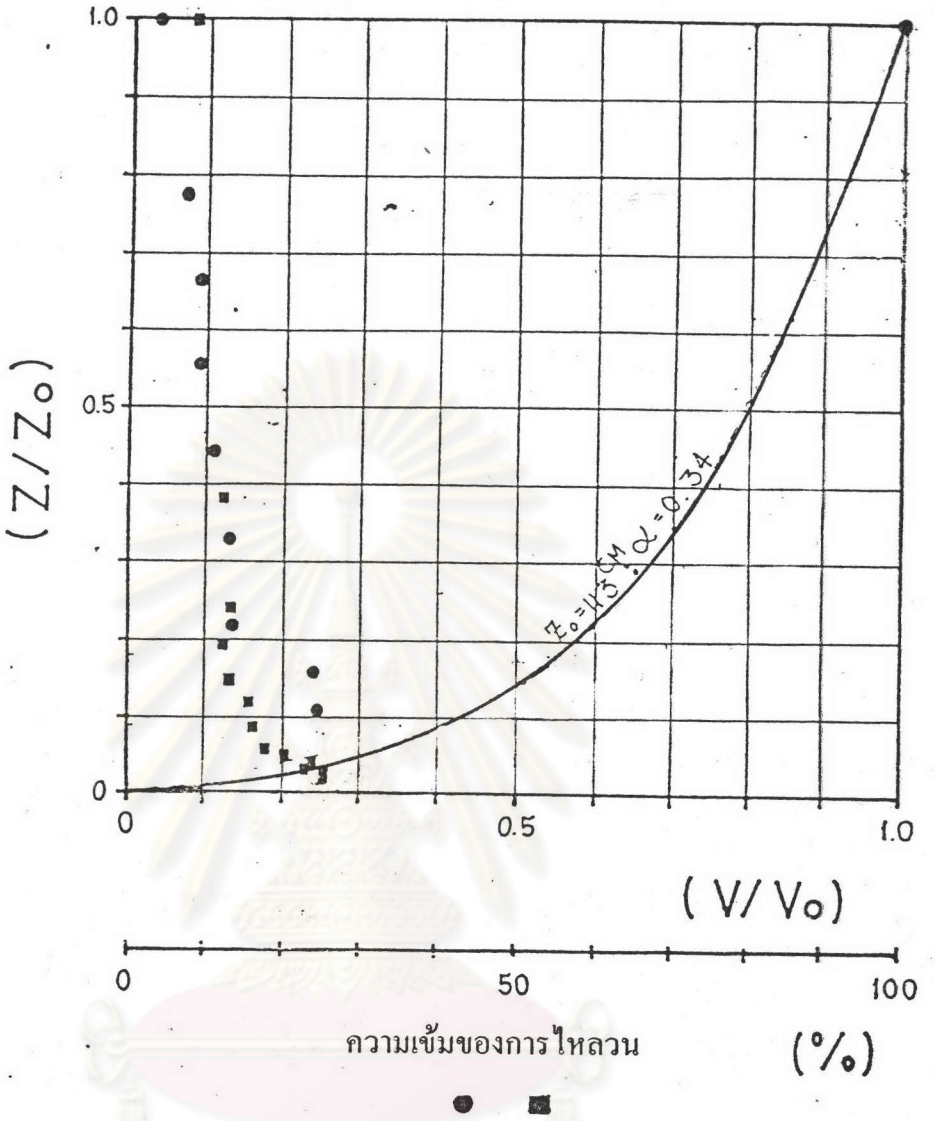
รูปที่ 3-8 แบบจำลองของโครงการอาคาร JEWELRY TRADE CENTER และอาคารข้างเคียงหลังจากติดตั้งภายในอุโมงค์ลม [18]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



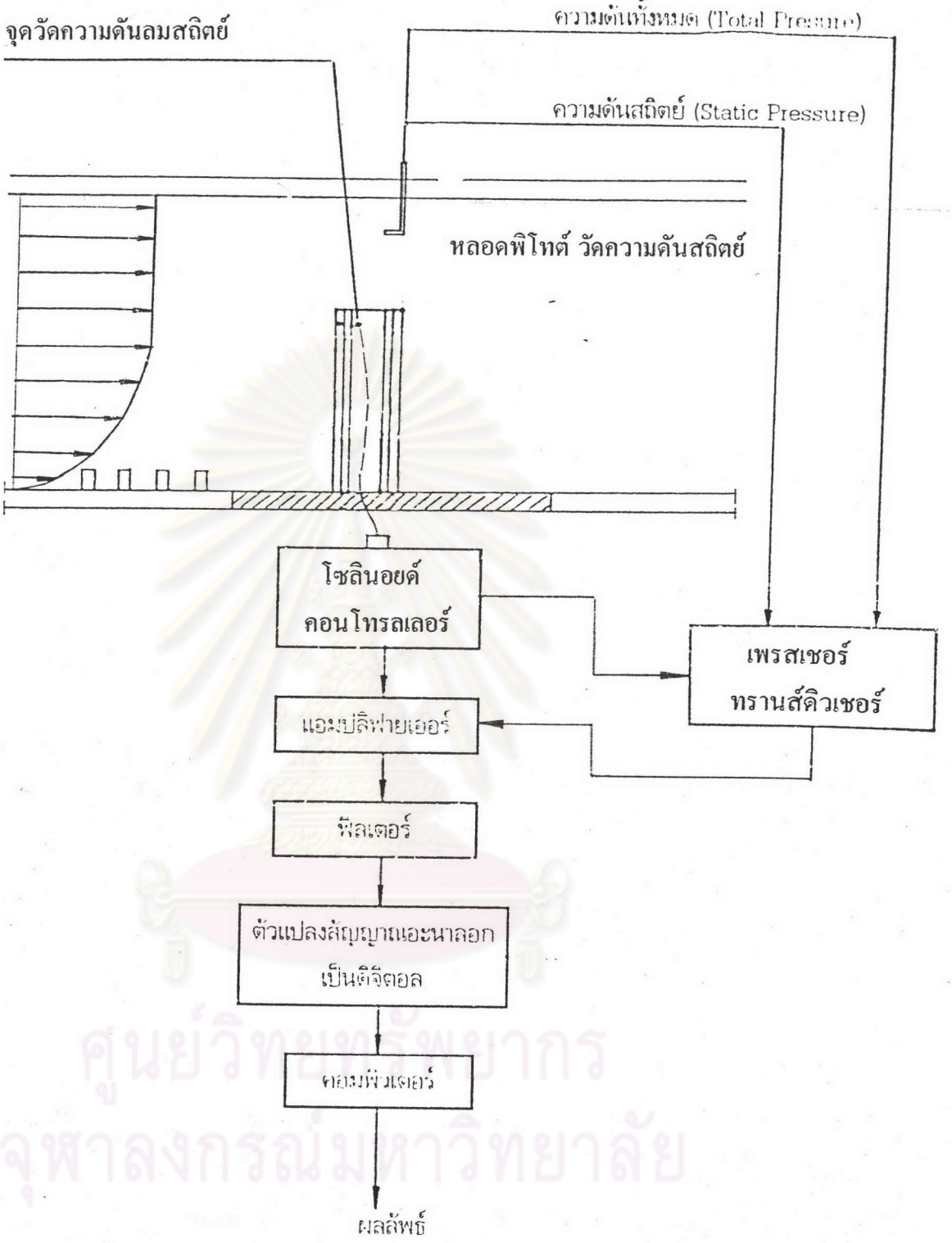
รูปที่ 3-9 แสดงการติดตั้งสไปร์และบล๊อคสี่เหลี่ยมบนพื้นของอุโมงค์ลม
เพื่อให้เกิดการก่อตัวของบาวดารี่เลเยอร์ [14]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



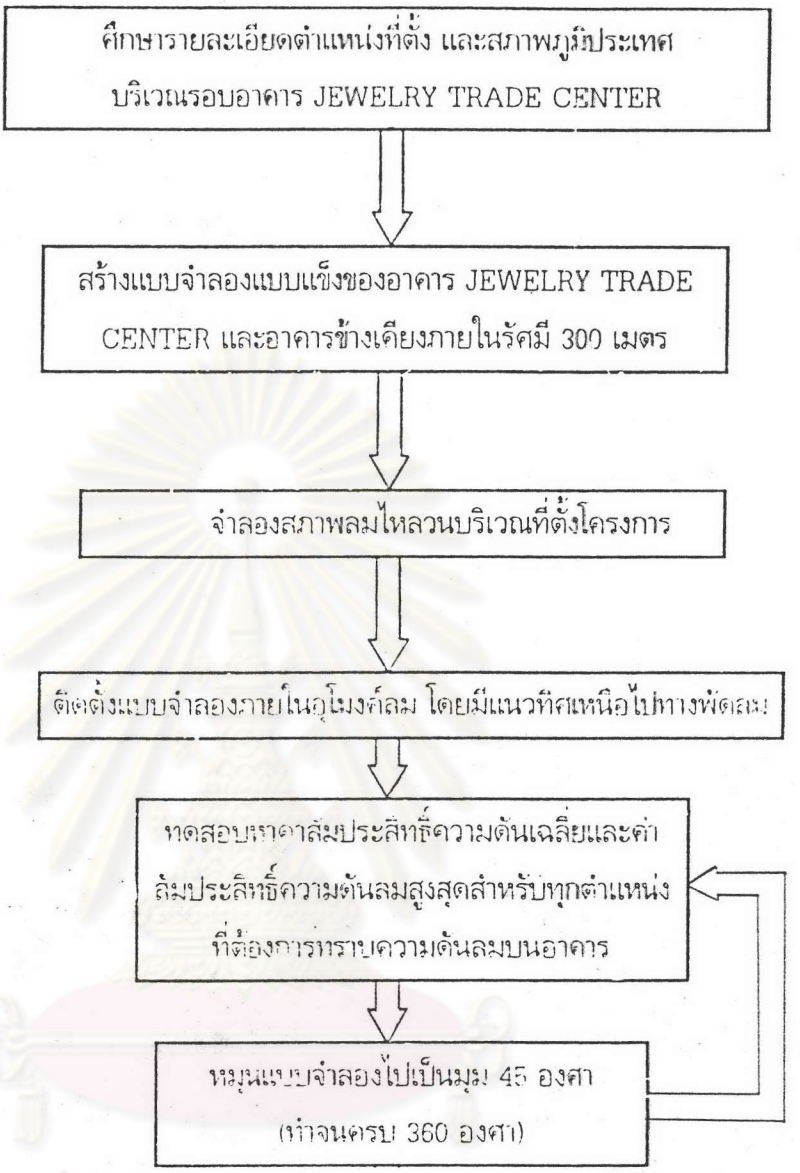
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3-10 ค่าความเข้มของการไหลวน (Turbulence Intensity) และการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมตามความสูงของลมจำลองที่ใช้ในการทดสอบอุโมงค์ลม



รูปที่ 3-11 การจัดอุปกรณ์วัดความดันลม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3-12 แผนภูมิการทดสอบแบบจำลองแบบแข็ง เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความดันลมสูงสุดและต่ำสุด โครงการอาคาร JEWELRY TRADE CENTER

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย