



การดำเนินการทดลอง

1. ขั้นตอนการเตรียมการและการทดสอบ

- 1.1 ศึกษาข้อมูลของกรุงเทพมหานคร
- 1.2 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับขนาดและรูปร่างของสนามกีฬาเฉลิมพระเกียรติ
- 1.3 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการใช้ชุดเครื่องมือการวัดความดัน
- 1.4 สร้างหุ่นจำลองสนามกีฬาเฉลิมพระเกียรติที่มีขนาดอัตราส่วนย่อส่วน 1:500 ,1:333 และ 1:250 แบบไม่มีช่องเปิด
- 1.5 ทำการเทียบมาตรฐานอุปกรณ์และชุดวัดความดัน
- 1.6 ติดตั้งจุดวัดความดันแบบอไว้ในชั้นหลังคาแนว 19 กับหุ่นจำลองทั้ง 3 ขนาด
- 1.7 กำหนดค่าความถี่สูงสุดที่สนใจ ความถี่ในการเก็บข้อมูล ความถี่สำหรับการกรองสัญญาณที่ไม่เกี่ยวข้อง ช่วงเวลาในการเก็บข้อมูล เพื่อการทดสอบที่มีประสิทธิภาพ
- 1.8 ทำการทดสอบวัดหาค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ ,Cm กับหุ่นจำลองสนามกีฬาเฉลิมพระเกียรติที่มีขนาดอัตราส่วนย่อส่วน 1:500 แบบไม่มีช่องเปิด ทำการทดสอบทุก 22.5 องศา รวม 9 ทิศทาง
- 1.9 ทำการปรับแก้ข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล
- 1.10 ทำการทดสอบวัดหาค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ ,Cm กับหุ่นจำลองสนามกีฬาเฉลิมพระเกียรติที่มีขนาดอัตราส่วนย่อส่วน 1:333 และ 1:250 แบบไม่มีช่องเปิด โดยทำการทดสอบเหมือนขั้นตอนที่ 1.8 – 1.9
- 1.11 ทำการทดสอบวัดหาค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ ,Cm กับหุ่นจำลองสนามกีฬาเฉลิมพระเกียรติที่มีขนาดอัตราส่วนย่อส่วน 1:500 มีช่องเปิด ใน 2 ทิศทาง ที่ทำให้เกิดแรงยกขึ้นและแรงกดลงสูงสุด โดยพิจารณาจากผลการทดสอบหัวข้อ 1.9

2. ลักษณะของลมที่ใช้ในการทดสอบ

ในการทดสอบในอุโมงค์ลม ควรจะให้ความเร็วสูงเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งยังสามารถทำให้คงสภาพดังต่อไปนี้ได้

1. หุ่นจำลองแบบแข็งไม่เกิดอาการสั่นไหว
2. อุโมงค์ลมต้องไม่เกิดสภาพเรโซแนนท์ (Resonate)
3. หุ่นจำลองต้องสามารถทนต่อแรงที่เกิดขึ้นได้

สำหรับลักษณะของกระแสลมที่ใช้ในการทดสอบนี้ ใช้สภาพของลมที่มีการไหลแบบราบเรียบ (Uniform Flow) เนื่องจาก

1. ลมที่มีการไหลแบบราบเรียบสามารถจำลองได้เลยทันทีจากอุโมงค์ลม โดยที่ไม่ต้องไปใช้อุปกรณ์เสริมใด ๆ
2. การจำลองลักษณะของลมสำหรับหุ่นจำลองแต่ละขนาดให้มีคุณลักษณะเหมือนกันนั้นทำได้แต่ยุ่งยากมาก ซึ่งคุณลักษณะของลมที่ว่าก็มี
 - การแปรเปลี่ยนความเร็วลมเมื่อเทียบกับความสูง
 - การกระรโชกของลม (Turbulent Intensity)
3. A.G. Davenport กล่าวไว้ว่า ผลจากการปิดกั้นในการไหลแบบบาวดารี (Boundary Layer Flow) นั้นทำนายได้ยากมาก เนื่องจากจะทำให้มีปัจจัยหลายอย่างเข้ามาเกี่ยวข้อง
4. สำหรับการนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานเพื่อการออกแบบหรือนำไปทำนายค่าแรงลมในสภาพภูมิประเทศที่แตกต่างออกไป สามารถที่จะใช้ค่าตัวประกอบเกี่ยวกับสภาพภูมิประเทศมาพิจารณาร่วมด้วย

3. หุ่นจำลอง

รูปแบบของหุ่นจำลองที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นหุ่นจำลองแบบแข็ง (Rigid Model) ไม่มีการคิดผลของ Aeroelastic (รูปแบบที่ 2 ของผังการแบ่งชนิดของหุ่นจำลองดังรูปที่ 2.4 ในบทที่ 2)

3.1 รายละเอียดและข้อจำกัดในการสร้างหุ่นจำลอง

รูปที่ 3.1 แสดงแปลนของสนามกีฬาเฉลิมพระเกียรติ และรูปที่ 3.2 เป็นรูปตัดของโครงสร้างหลังคา โดยจำลองให้ง่ายเพื่อให้ได้เค้าโครงภายนอกเท่านั้น ค่าพิกัดของจุดต่างๆที่แสดงไว้ในรูป 3.2 ให้ไว้ในตารางที่ 3.1 ในการทำหุ่นจำลองได้มีการดัดแปลงสภาพจริงเล็กน้อย (ซึ่งมีผลต่อการทดสอบน้อยมาก) ดังนี้

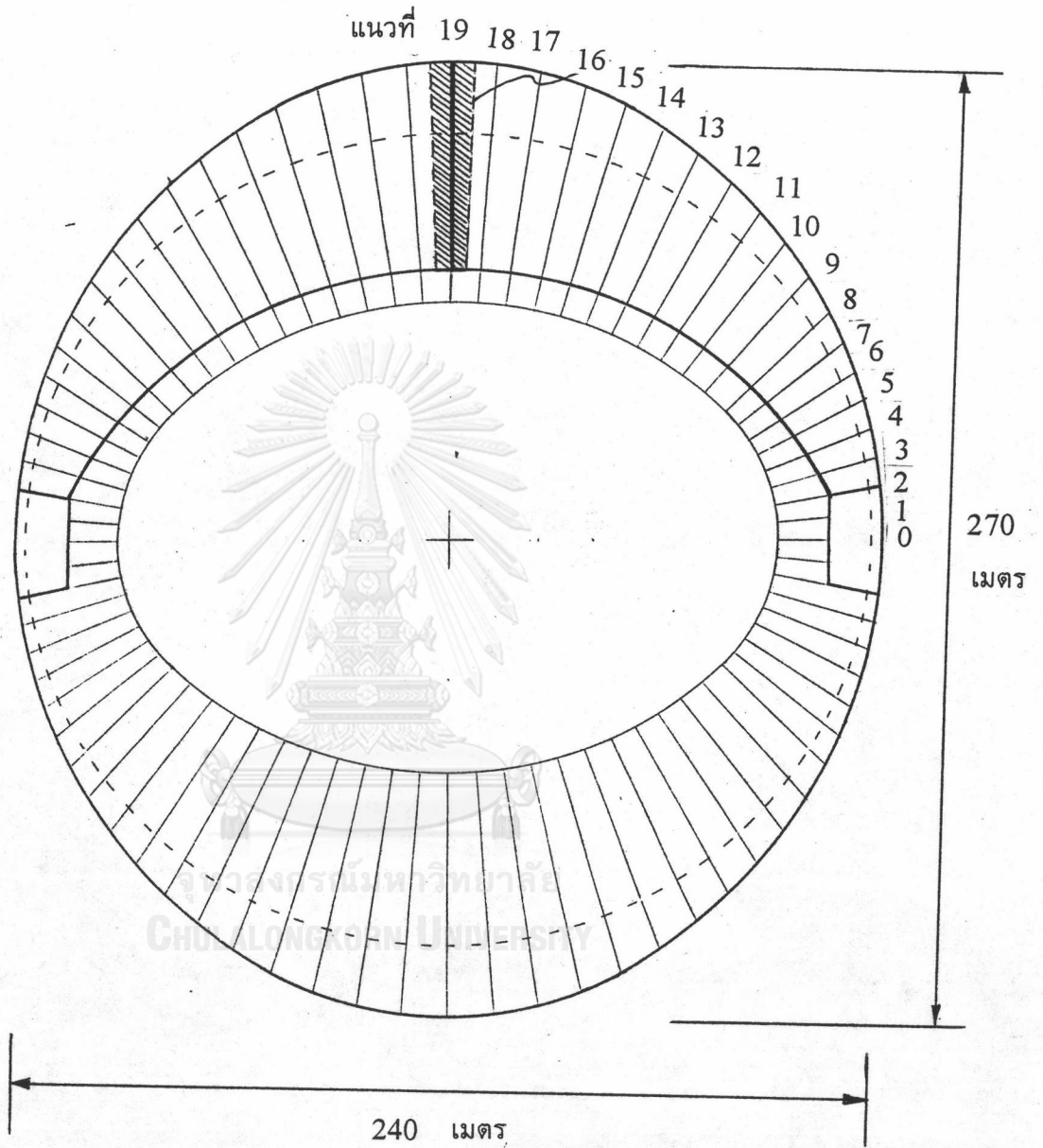
1. ขนาดและลักษณะของสกอรับอร์ตถูกลดลง เพื่อให้มีลักษณะสมมาตรกับแนวคาน 19 (คานตัวที่ยาวที่สุด)
2. รายละเอียดเล็กน้อยต่าง ๆ เช่น ชั้นที่นั่งของอัฒจันทร์ ประตูเข้าสนามกีฬาไม่ได้ถูกจำลองในหุ่นจำลอง

หุ่นจำลองที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ตัวอาคารด้วยแผ่นพลาสติกแข็ง หลังคาส่วนใหญ่ทำด้วยไม้ บัลซ่า ยกเว้นส่วนหลังคาที่ต้องการวัดหาความดันจะประกอบด้วยพลาสติก โดยที่มีจุดวัดความดันแบบงอซ่อนอยู่ภายในชั้นหลังคา

3.2 การเลือกอัตราส่วนย่อส่วนในการทดสอบ

ข้อพิจารณาในการเลือกอัตราส่วนหุ่นจำลอง มีดังนี้

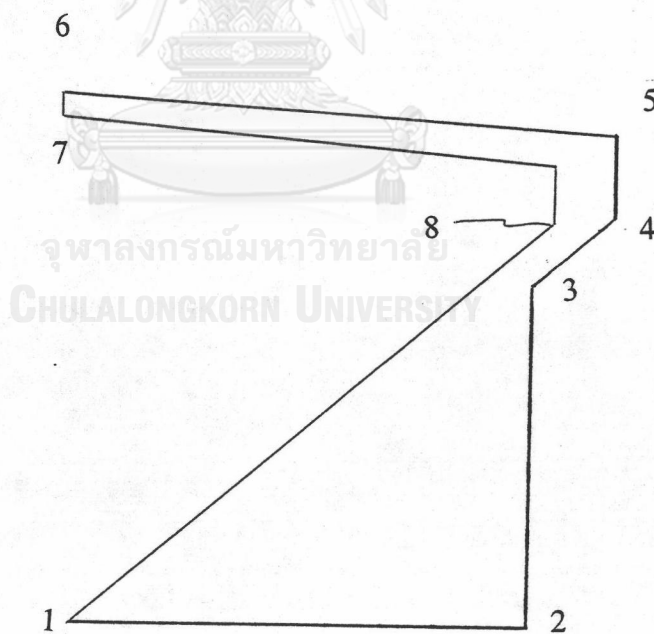
1. หุ่นจำลองตัวที่ใหญ่ที่สุด เลือกให้โตที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยมีระยะห่างของหุ่นจำลองกับผนังอุโมงค์ลมไม่น้อยกว่า 0.25 เมตร ซึ่งประมาณร้อยละ 15 ของความกว้างอุโมงค์ลมจะได้ อัตราส่วนย่อส่วน 1:250



รูปที่ 3.1 แปลนสนามกีฬาเฉลิมพระเกียรติ

2. อัตราการย่อส่วนขนาดเล็กสุด ในงานวิจัยทั่วไปที่ผ่านมาในการทดสอบในอุโมงค์ลมพบว่าใช้ 1:500 เป็น ขนาดที่เล็กที่สุดซึ่งสามารถติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆได้ นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ขนาดความหนาของชั้นหลังคาก็จะเป็นตัวกำหนดด้วย การติดตั้งท่อวัดความดันในชั้นหลังคาทำให้ต้องมีความหนาดำสุด 6 มิลลิเมตร ซึ่งเทียบเท่าของจริง 3 เมตร สำหรับอัตราการย่อส่วน 1:500 ในสภาพของจริงส่วนปลายยื่นของหลังคาจะมีแผงติดโคมไฟสูงประมาณ 2.5 เมตร จะเห็นว่าด้วยอัตราการย่อส่วน 1:500 ก็มีผลทำให้ส่วนปลายของหลังคาของจริงกับของหุ่นจำลอง มีขนาดแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย ถ้าหากใช้อัตราการย่อส่วนเล็กกว่านี้อีกจะทำให้การจำลองผิดเพี้ยนไปมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ความหนาที่ส่วนปลายของหลังคาจะมีส่วนทำให้ลมแยกตัวด้วย ดังนั้นถ้าหากความหนาของชั้นหลังคาแตกต่างกันมากระหว่างของจริงกับหุ่นจำลอง จะทำให้มีผลกระทบจากปัญหาดังนี้ด้วย

3. อัตราการย่อส่วนขนาดกลาง เลือกให้อัตราส่วนการปิดกั้นอยู่ใกล้เคียงกึ่งกลางของอัตราส่วนตัวใหญ่และตัวเล็กสุด



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งค่าพิคตของโครงสร้างคานหลังคาสนามกีฬาเฉลิมพระเกียรติใช้คู่กับตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าพิกัดแนวราบและแนวตั้งของโครงสร้างหลังคาสนามกีฬาเฉลิมพระเกียรติ
ในสภาพจริง

| คาน แนวที่ | ค่าพิกัดแนวราบของจุดที่ | | | | ค่าพิกัดแนวตั้งของจุดที่ | | | | | |
|---------------|-------------------------|------|------|------|--------------------------|------|------|------|------|------|
| | 2, 3 | 4, 5 | 6, 7 | 8 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 5' |
| 0 | 28.0 | 11.7 | | | 22.0 | 22.0 | 7.1 | | | |
| 1 | 28.0 | 11.7 | | | 22.0 | 22.0 | 7.1 | | | |
| 2 | 24.5 | 28.0 | 14.0 | 24.0 | 14.5 | 15.8 | 20.3 | 21.5 | 16.8 | 19.6 |
| 3 | 26.0 | 28.8 | 12.5 | 24.0 | 14.9 | 16.4 | 20.9 | 22.4 | 16.8 | 20.1 |
| 4 | 26.3 | 29.8 | 11.5 | 25.5 | 15.5 | 17.2 | 21.8 | 23.6 | 17.9 | 20.8 |
| 5 | 28.0 | 31.5 | 10.5 | 27.5 | 16.1 | 18.0 | 22.8 | 24.6 | 19.3 | 22.0 |
| 6 | 29.0 | 33.5 | 9.8 | 29.5 | 16.8 | 19.0 | 24.1 | 26.2 | 20.7 | 23.5 |
| 7 | 30.5 | 35.4 | 9.0 | 31.7 | 17.8 | 20.3 | 25.8 | 28.0 | 22.2 | 24.8 |
| 8 | 32.3 | 38.2 | 8.5 | 34.7 | 18.7 | 21.8 | 27.6 | 29.8 | 24.3 | 26.7 |
| 9 | 34.3 | 41.3 | 8.2 | 37.8 | 19.9 | 23.9 | 30.1 | 33.0 | 26.5 | 28.9 |
| 10 | 36.3 | 44.8 | 8.2 | 40.8 | 21.1 | 26.3 | 32.8 | 36.0 | 28.6 | 31.4 |
| 11 | 38.5 | 48.1 | 8.2 | 43.0 | 22.3 | 28.6 | 35.7 | 39.0 | 31.0 | 33.7 |
| 12 | 40.3 | 51.8 | 8.2 | 47.8 | 23.4 | 30.7 | 38.0 | 41.4 | 33.5 | 36.3 |
| 13 | 42.0 | 55.0 | 8.2 | 51.0 | 24.5 | 33.0 | 40.5 | 44.1 | 35.7 | 38.5 |
| 14 | 43.8 | 58.2 | 8.2 | 54.0 | 25.5 | 35.1 | 42.8 | 46.4 | 38.0 | 40.8 |
| 15 | 45.3 | 61.4 | 8.2 | 57.5 | 26.4 | 36.8 | 44.8 | 48.5 | 40.3 | 43.0 |
| 16 | 46.0 | 63.9 | 8.2 | 60.0 | 27.0 | 38.2 | 46.5 | 50.6 | 42.0 | 44.7 |
| 17 | 46.8 | 65.7 | 8.2 | 62.0 | 27.6 | 39.3 | 47.8 | 52.4 | 43.4 | 46.0 |
| 18 | 47.0 | 66.7 | 8.2 | 62.5 | 28.0 | 40.0 | 49.0 | 53.5 | 43.8 | 46.7 |
| 19 | 47.0 | 67.0 | 8.2 | 63.0 | 28.0 | 40.0 | 49.0 | 53.7 | 44.1 | 46.9 |

หน่วยค่าพิกัดเป็นเมตร

4. การติดตั้งจุดวัดความดัน

4.1 การเลือกรูปแบบการติดตั้งจุดวัดความดัน

จากรูปแบบการจัดจุดวัดความดันตามหัวข้อ 7.5 ในบทที่ 2 ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้เลือกรูปแบบการติดตั้งจุดวัดความดันดังนี้

1. ผิวล่างใช้รูปแบบแถวเดียว
2. ผิวบนใช้รูปแบบหลายแถว

โดยมีเหตุผลดังนี้

1. รูปแบบของความดันที่กระทำต่อพื้นผิวคานานั้น จะมีการเปลี่ยนแปลงของขนาดทางด้านแนวคานามากกว่าทางด้านตั้งฉากกับแนวคาน ดังนั้นจากจำนวนจุดวัดความดันเท่าที่มีอยู่ จึงจัดให้มีจุดตามแนวคานให้มากที่สุดเพื่อให้สามารถวัดการเปลี่ยนแปลงความดันทางด้านแนวคานให้มากที่สุด
2. จากตารางที่ 2.3 พบว่าความผิดพลาดในการคำนวณหาโมเมนต์จากวิธีเฉลี่ยนิวเมติก โดยมีการจัดจุดวัดความดันแบบแถวเดียวจะน้อยกว่าการจัดแบบอนุกรม สำหรับคานกว้างคงที่ b จึงเป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกการจัดจุดวัดความดันแบบแถวเดียว ค่าความผิดพลาดจากกรณีการจัดจุดวัดความดันแบบแถวเดียวสำหรับคานกว้างคงที่ b เมื่อเทียบกับค่าจริง มีค่าอยู่ในช่วง -0.9% ถึง $+1.8\%$

4.2 การเลือกจำนวนจุดวัดความดันบนหลังคา

เนื่องจากว่า อุปกรณ์เครื่องวัดความดันที่ใช้มี 3 ตัว และบริเวณที่จะวัดความดันนั้นมีทั้งผิวบนและผิวล่างของหลังคาสนามกีฬา จึงจัดให้ผิวบนใช้เครื่องวัดความดัน 2 ตัว ส่วนผิวล่างใช้เครื่องวัดความดัน 1 ตัว เนื่องจากความดันส่วนใหญ่ของพื้นผิวด้านล่างของหลังคาสนามกีฬานั้นค่อนข้างจะแปรเปลี่ยนน้อย ดังนั้นที่ผิวด้านบนจึงต้องการการวัดที่ละเอียดกว่า

4.3 ตำแหน่งการติดตั้งจุดวัดความดันของคานแนว 19

จุดวัดความดันมีดังนี้

1. ที่ผิวด้านบน ติดจุดวัดความดันไว้ทั้งหมด 20 จุด ได้แบ่งพื้นที่สำหรับวัดแรงลม ไว้เป็น 2 ข้าง ของคานแนวน จึงทำให้ติดจุดวัดความดันได้ข้างละ 10 จุด โดย ติดแบบแถวเดียว
2. ที่ผิวด้านล่าง ติดจุดวัดความดันไว้ทั้งหมด 10 จุด ดังนั้นจึงติดได้ 5 จุดต่อ 1 ข้างของคานแนวน ทำให้จุดวัดความดันมี 2 แถว จึงเป็นการติดแบบหลายแถว

ตารางที่ 3.2 สรุปตำแหน่งของจุดวัดความดัน สำหรับกรณีวัด 10 จุด

| จุดวัดที่ | a_i เมตร | ขนาดพื้นที่, A_i ตารางเมตร | ระยะจากจุดวัด ถึงจุดยึดแน่น, X_i | ผลคูณ $A_i X_i$ เมตร |
|-----------|---------------|---------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| 1 | 16.48606 | 89.671578 | 8.111303 | 727.35335 |
| 2 | 7.16500 | 36.291743 | 20.04184 | 727.35335 |
| 3 | 5.65327 | 27.488408 | 26.46036 | 727.35335 |
| 4 | 4.88142 | 22.922006 | 31.37253 | 727.35335 |
| 5 | 4.39596 | 19.997325 | 36.37253 | 727.35335 |
| 6 | 4.05744 | 17.914842 | 40.60060 | 727.35335 |
| 7 | 3.80635 | 16.332753 | 44.53341 | 727.35335 |
| 8 | 3.61242 | 15.076725 | 48.24345 | 727.35335 |
| 9 | 3.45841 | 14.047170 | 51.77935 | 727.35335 |
| 10 | 3.28368 | 13.182452 | 55.17587 | 727.35335 |

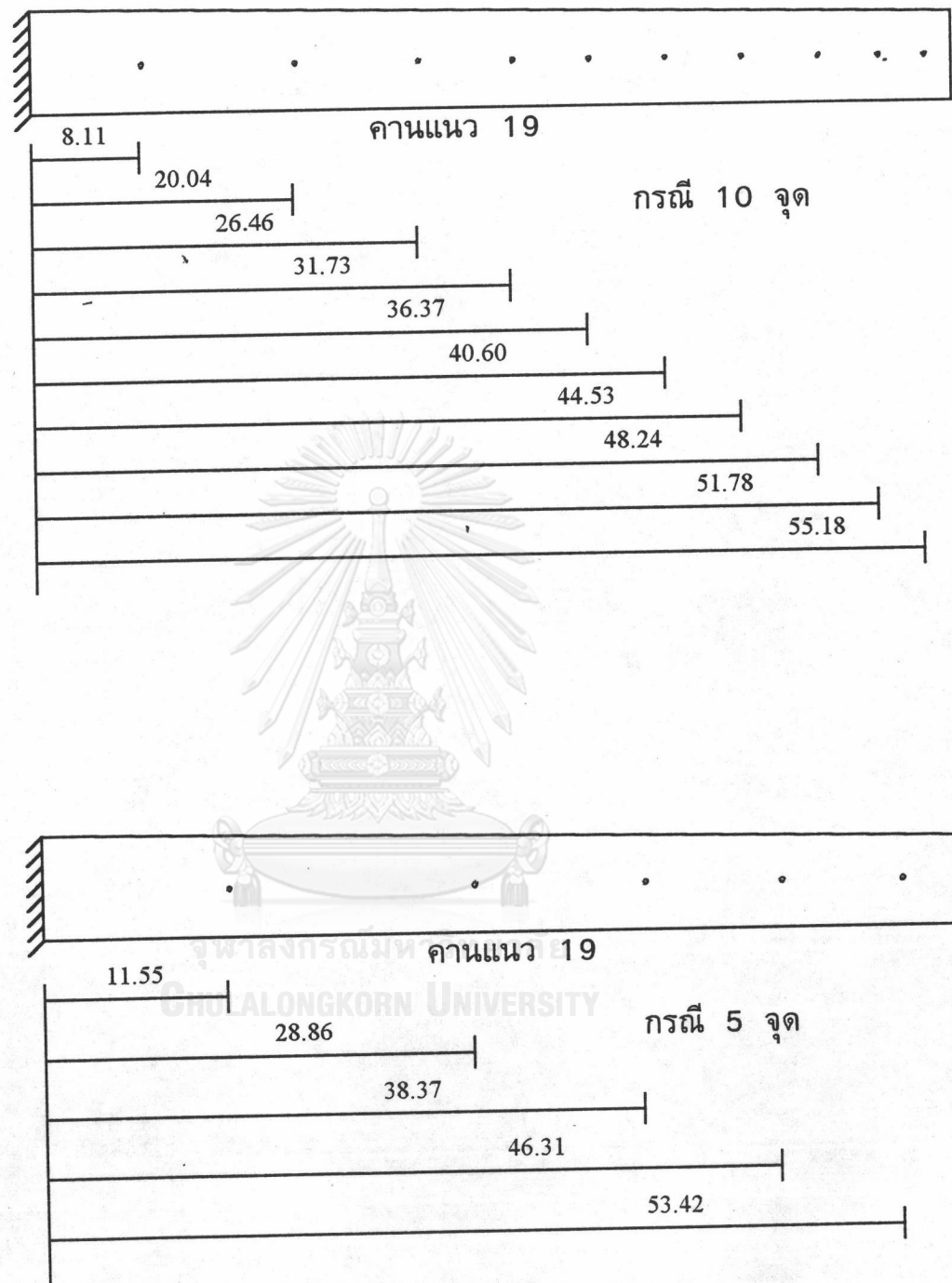
ดูรายละเอียดภาคผนวก ข

ตารางที่ 3.3 สรุปลำแหน่งของจุดวัดความดันสำหรับกรณีวัด 5 จุด

| จุดวัดที่ | a_j เมตร | ขนาดพื้นที่, A_j ตารางเมตร | ระยะจากจุดวัด ถึงจุดยึดแน่น, X_j | ผลคูณ $A_j X_j$ เมตร |
|-----------|---------------|---------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| 1 | 23.65106 | 125.963321 | 11.548653 | 1454.70670 |
| 2 | 10.53469 | 50.410414 | 28.857266 | 1454.70670 |
| 3 | 8.45340 | 37.912166 | 38.370445 | 1454.70670 |
| 4 | 7.41876 | 31.409477 | 46.314259 | 1454.70670 |
| 5 | 6.74209 | 27.229621 | 53.423684 | 1454.70670 |

ดูรายละเอียดภาคผนวก ข

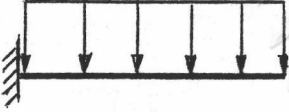
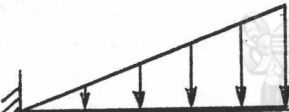
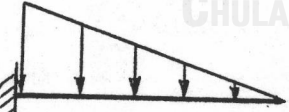




รูปที่ 3.3 ตำแหน่ง X_j ของคานแนว 19

จากการคำนวณเปรียบเทียบโมเมนต์ระหว่างวิธีเฉลี่ยนิวเมติกกับค่าจริง โดยมีการจัดจุดวัดความดันแบบแถวเดียว 5 จุด และ 10 จุด พบว่าจะมีค่าความผิดพลาด ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ค่าความผิดพลาดในการคำนวณหาโมเมนต์จากวิธีเฉลี่ยนิวเมติก โดยมีการจัดจุดวัดความดันแบบแถวเดียว 5 จุด และ 10 จุด โดยเทียบกับ ค่าจริง สำหรับคานแนว 19

| ลักษณะรูปแบบความดัน | ค่าความผิดพลาดในการหาโมเมนต์เทียบกับค่าจริง | |
|---|---|--------|
| | 5 จุด | 10 จุด |
|  | 0 % | 0 % |
|  | -2.6 % | -0.8 % |
|  | +4.6 % | +1.5 % |

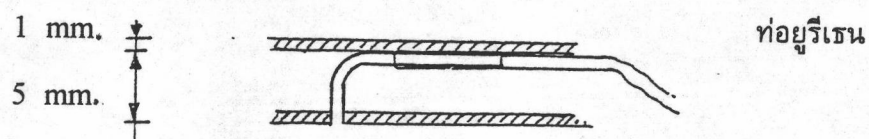
ดูรายละเอียดภาคผนวก ข

4.4 การติดตั้งวัดความดันในชั้นหลังคาในงานวิจัยนี้

ขนาดของหุ่นจำลองที่เล็กที่สุดในงานวิจัยนี้ มีอัตราการย่อส่วน 1:500 เนื่องจากการทำจุดวัดความดันงอ สามารถติดตั้งได้ขนาดเล็กที่สุดดังแสดงในรูปที่ 3.4 ดังนั้นในการติดตั้งจุดวัดความดันแบบงอซ้อนไว้ในชั้นหลังคา จึงทำให้หลังคามีความหนา 6 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.5 ซึ่งมีผลทำให้เทียบเท่ากับความหนาของหลังคาจริง 3 เมตร ในความเป็นจริงแล้วบริเวณด้านปลายยื่นของคานจะมีแผงโคมไฟขนาดใหญ่ซึ่งสูง 2.5 เมตร ดังนั้นในการจำลองโครงสร้างจริงจึงมีข้อจำกัดในการจำลองความหนาของหลังคาอยู่บ้าง



รูปที่ 3.4 จุดวัดความดันแบบงอที่ใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้



แผ่นพลาสติกหนา 1 mm,
ทำผนังหลังคา

รูปที่ 3.5 รายละเอียดการติดตั้งจุดวัดความดันแบบงอไว้ในชั้นหลังคาในงานวิจัยนี้

5. อุปกรณ์การทดสอบ

5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบวัดความดัน

รูปที่ 3.6 แสดงการจัดอุปกรณ์หลักๆในการวัดความดัน อุปกรณ์ต่างๆที่ใช้มีดังนี้

1. อุโมงค์ลมของห้องวิจัยทางอุโมงค์ลม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ยาว 9 เมตร หน้าตัดกว้าง 1.60 เมตร สูง 1.60 เมตร ดังรูปที่ 3.7 สามารถสร้างความเร็วลมได้ถึง 18 เมตรต่อวินาที ในสภาพลม Uniform Flow

2. จุดวัดความดัน (Pressure Tap) เป็นท่อทองเหลืองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 1/16 นิ้ว โดยนำมาติดตั้งดังรูปที่ 3.4 แล้วจึงนำไปทดสอบเปรียบเทียบกับจุดวัดความดันแบบตรง. เพื่อตรวจสอบว่าจุดวัดความดันแบบงอจะให้ผลการทดสอบต่างจากจุดวัดความดันแบบตรงเท่าไร โดยการติดตั้งจุดวัดความดันแบบงอเข้าใกล้กับจุดวัดความดันแบบตรงให้มากที่สุด แล้วจึงทำการคัดเลือกเอาเฉพาะจุดวัดความดันแบบงอตัวที่ผลการทดสอบออกมาแล้วพบว่าใกล้เคียงกับท่อรับความดันแบบตรง โดยดูผลการเปรียบเทียบของค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

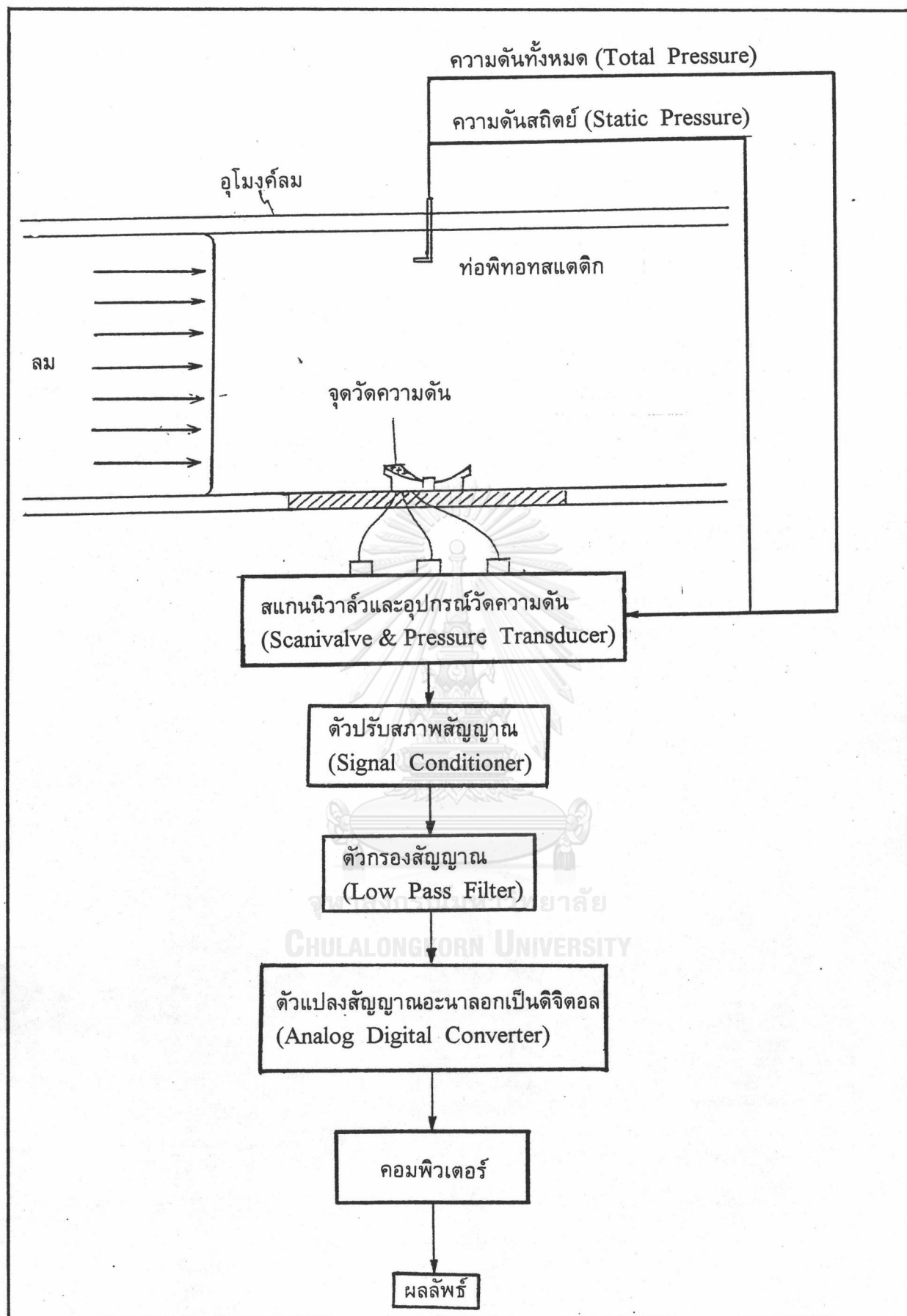
3. ท่อยูรีเทน (Urethane Tubing) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเท่ากับ 1/16 นิ้ว เป็นท่อเชื่อมต่อระหว่างท่อวัดความดันเข้ากับเครื่องวัดความดัน สาเหตุที่ต้องใช้ท่อยูรีเทน คือ การที่ไม่สามารถติดตั้งเครื่องวัดความดันเข้ากับผนังของหุ่นจำลองได้โดยตรง

4. รีสตรัคเตอร์ (Restrictor) เป็นท่อทองเหลืองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 0.0625 นิ้ว โดยมีส่วนของท่อที่อยู่ตรงกลางซึ่งถูกบีบให้แบนดังรูปที่ 2.11 อุปกรณ์นี้จะทำหน้าที่ไปหน่วงการเกิดเรโซแนนซ์ (Resonance) ของกระแสลมในท่อยูรีเทน

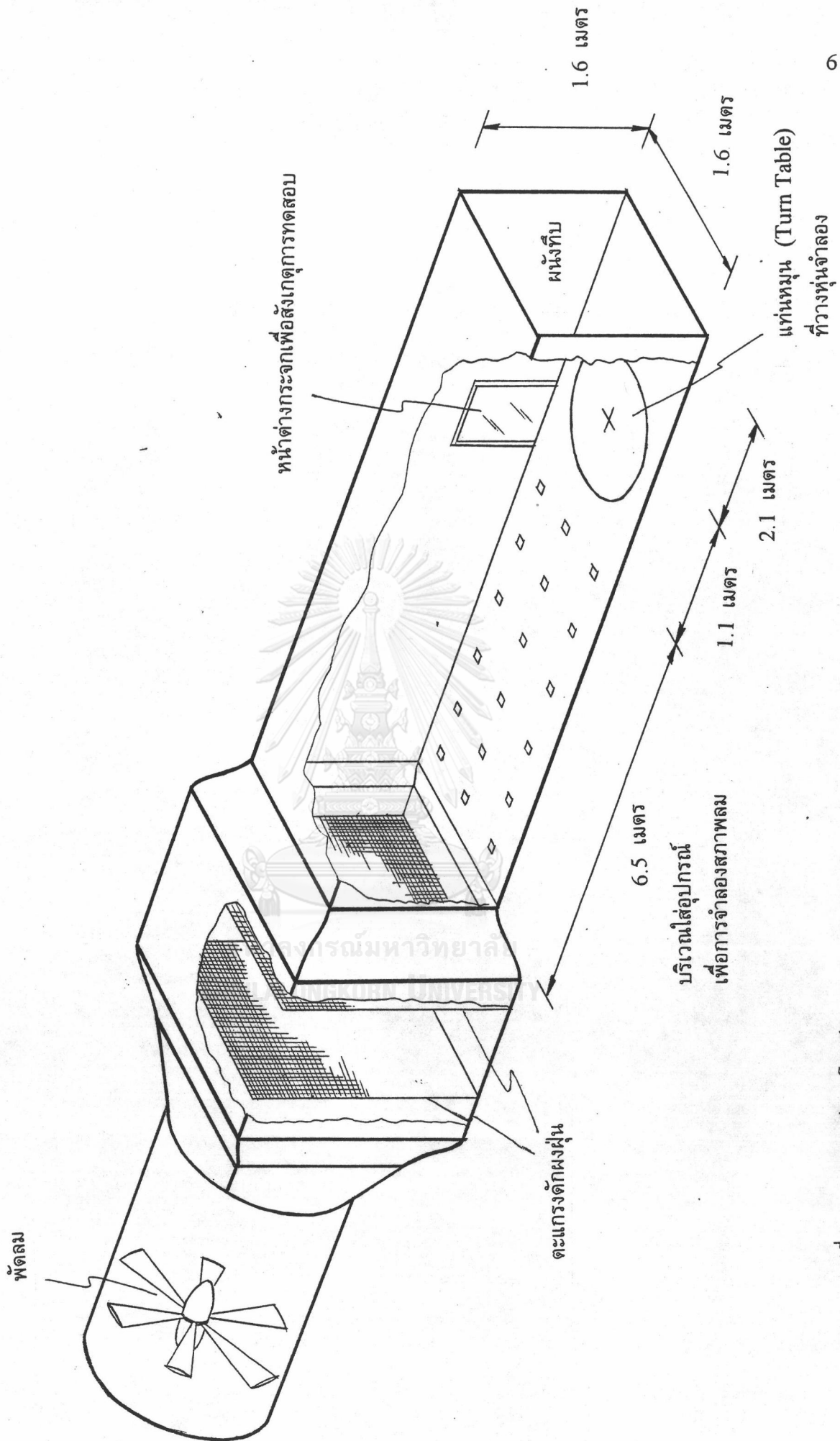
5. อุปกรณ์เฉลี่ยความดันแมนนิโฟลด์ชนิดรวม 10 ท่อ อุปกรณ์ดังรูปที่ 2.6 โดยทำหน้าที่เฉลี่ยความดันจากท่อเข้าทั้งหมด 10 ท่อ

6. ท่อพิทอทสแตติก (Pitot Static Tube) ทำหน้าที่วัดค่าความดันสถิติกและความดัน พลวัตที่ระดับอ้างอิง

7. เครื่องวัดความดันแบบวัดค่าความดันแตกต่าง (Differential Pressure Transducer) เป็นอุปกรณ์ที่แปลงความดันไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าแบบอะนาลอก เป็นเครื่องวัดความดันแบบชนิดที่วัดค่าความดันที่แตกต่างกัน มีขนาดค่าเต็มพิกัดในการวัดค่าความดันที่แตกต่างกันได้ ± 1 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
8. สแกนนิวาล์ว (Scanivalve) เป็นส่วนของอุปกรณ์ที่เครื่องวัดความดันบรรจุอยู่ข้างใน เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เลื่อนกลไกให้ไปวัดที่จุดวัดความดันต่างๆได้ โดยสามารถต่อกับจุดวัดต่างๆได้ 48 จุด
9. ตัวควบคุมโซลินอยด์ (Solenoid Controller) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมให้เครื่องวัดความดันได้รับความดันจากจุดวัดความดันตามตำแหน่งที่ต้องการ โดยตัวควบคุมโซลินอยด์ จะไปทำให้ตัวขับเคลื่อนของสแกนนิวาล์ว ให้เลื่อนกลไกทำให้เกิดการต่อเชื่อมระหว่างเครื่องวัดความดันเข้ากับท่อวัดความดันที่ออกมาจากอุปกรณ์เฉลี่ยความดันแมนนิโฟลด์ หรือต่อเชื่อมเครื่องวัดความดันเข้ากับท่อความดันที่มาจากท่อพิทอทสแตติก
10. ตัวปรับสภาพสัญญาณ (Signal Conditioner) เป็นอุปกรณ์ที่เอาไว้ปรับสภาพสัญญาณไฟฟ้าจากเครื่องวัดความดัน โดยปรับลดหรือขยายขนาดของสัญญาณไฟฟ้า, ปรับระดับสัญญาณไฟฟ้าให้เข้าใกล้ศูนย์ และเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้า เครื่องวัดความดันด้วย
11. โลว์พาสฟิลเตอร์ (Low Pass Filter) เป็นอุปกรณ์กรอง ลดทอนขนาดสัญญาณไฟฟ้าที่ไม่ต้องการ โดยจะกรองสัญญาณไฟฟ้าที่มีความถี่สูงกว่าค่าที่ตั้งไว้ออกไป
12. ตัวแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog Digital Converter) เป็นอุปกรณ์แปลงสัญญาณไฟฟ้าแบบอะนาลอกไปเป็นดิจิทัลเพื่อให้สามารถเก็บข้อมูลในคอมพิวเตอร์ เพื่อสะดวกในการนำข้อมูลไปประมวลผล
13. ตัวบันทึกสัญญาณ (Tape Recorder) เป็นอุปกรณ์ที่บันทึกสัญญาณไฟฟ้าแบบอะนาลอกที่ได้จากการทดสอบ เพื่อที่จะสามารถเอาผลออกมาทำการคำนวณซ้ำได้
14. ไมโครคอมพิวเตอร์ เป็นอุปกรณ์สำหรับบันทึกข้อมูลและประมวลผล
15. อุปกรณ์วัดความเร็วลม



รูปที่ 3.6 ผังชุดเครื่องมือวัดความดันที่ใช้ในงานวิจัยนี้



รูปที่ 3.7 รายละเอียดของห้องวิจัยทางอุโมงค์ลม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 การทดสอบเทียบมาตรฐาน (Calibration Test)

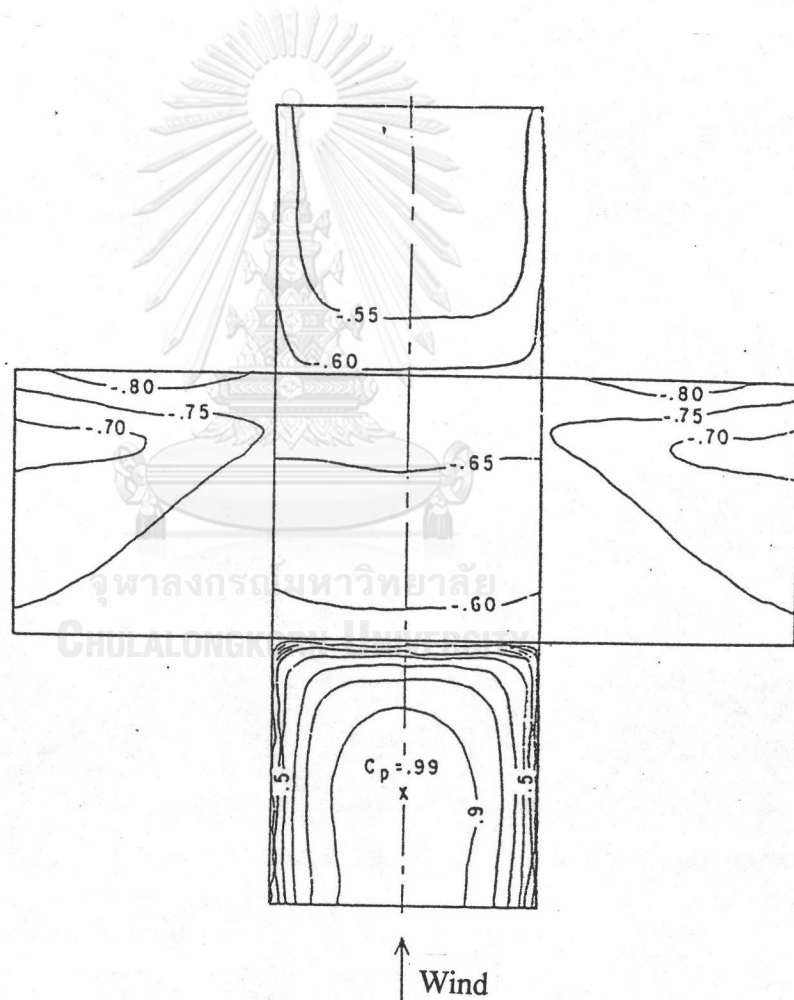
5.2.1 การเทียบมาตรฐานอุปกรณ์

1. จุดวัดความดันแบบงอ ทำโดยการใช้หุ่นจำลองรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 0.3 เมตร แล้วติดจุดวัดความดันแบบงอใกล้ๆ กับจุดวัดความดันแบบตรง โดยให้สมมาตรกับแนวกึ่งกลางของลูกบาศก์ และจุดทั้ง 2 อยู่ห่างกันประมาณ 3 มิลลิเมตร แล้วทำการทดสอบในสภาพการไหลแบบเรียบ นำผลค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่างจุดทั้งสองมาเปรียบเทียบกัน

2. รีสตริกเตอร์ (Restrictor) และอุปกรณ์เฉลี่ยความดันแมนิโฟลด์ (Manifold) อุปกรณ์ทั้ง 2 ชนิด ได้ส่งมาจากหน่วยปฏิบัติการและวิจัยทางอุโมงค์ลม มหาวิทยาลัยเวสเทินออนดารีโอ ประเทศแคนาดา โดยทำการเทียบมาตรฐานแล้ว วิธีการเทียบมาตรฐานของรีสตริกเตอร์นั้นทำโดยการวัดหาเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเฉลี่ยของรีสตริกเตอร์ Stephen J. Gumley ได้แสดงรายละเอียดไว้แล้ว [14]

5.2.2 การเทียบมาตรฐานชุดเครื่องมือทดสอบวัดความดัน

ทำโดยการติดตั้งชุดวัดความดันกับหุ่นจำลองรูปทรงลูกบาศก์ โดยมีจุดวัดความดันที่ด้านหน้า ด้านข้าง ด้านบน ด้านหลัง ทดสอบในสภาพการไหลแบบเรียบ แล้วเปรียบเทียบค่า C_p จากการทดสอบกับผลการทดสอบที่ได้พิมพ์เผยแพร่ในวารสาร ดังรูปที่ 3.8 โดย W.D. Baines [32]



รูปที่ 3.8 ผลการทดสอบหุ่นจำลองรูปทรงลูกบาศก์ ในสภาพการไหลแบบเรียบ โดย

W.D. Baines [32]

6. การเก็บข้อมูลและการปรับแก้ข้อมูลการทดสอบ

6.1 การเลือกช่วงเวลาของการสุ่มตัวอย่างเก็บข้อมูล (Choice of Sampling Period)

การเลือกช่วงเวลาของการสุ่มตัวอย่างต้องพิจารณา 2 อย่างคือ [6]

1. ช่วงเวลานั้นจะต้องนานพอที่จะทำให้เกิดความเสถียรภาพทางสถิติ (Statistical Stability) ของค่าเฉลี่ยและค่ารากที่สองของผลรวมค่ากำลังสอง (RMS.) ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยและค่ารากที่สองของผลรวมค่ากำลังสองของข้อมูลที่ได้ไม่ขึ้นกับเวลา

2. การวัดค่าความผันผวนมากที่สุดและน้อยที่สุดนั้น ช่วงเวลาของการสุ่มตัวอย่างจะต้องเปรียบเทียบได้กับช่วงเวลาจริง (Full Scale Interval) ประมาณ 1 ชั่วโมง เพราะว่าข้อมูลที่ได้จะเอาไปเปรียบเทียบกับข้อมูลทางสถิติของความเร็วลมเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง (Hourly Mean Wind Speed) เพื่อที่จะเอาไปทำนายค่าความผันผวนที่สูงสุดและต่ำสุดของสภาพจริง

เนื่องจากหุ่นจำลองมีอัตราส่วนที่ต่างกัน ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูลในการทดสอบเพื่อให้เทียบเท่ากับเวลาจริง 1 ชั่วโมง จึงต่างกัน

จากสมการ

$$\lambda_V = \frac{V_m}{V_p} \dots \dots \dots (3.1)$$

$$= \frac{L_m T_p}{T_m L_p}$$

$$= \frac{L_m T_p}{L_p T_m}$$

$$= \frac{T_p}{T_m} \lambda_L$$

จะได้ $T_m = \frac{\lambda_L T_p}{\lambda_V} \dots \dots \dots (3.2)$

กรณีอัตราการย่อส่วน 1:250

$$\begin{aligned}
 T_m &= \frac{\lambda_L T_P}{\lambda_V} \\
 &= \frac{1 \cdot 40 \cdot 3600}{250 \cdot 12} \quad \text{วินาที} \\
 &= 48.00 \quad \text{วินาที}
 \end{aligned}$$

กรณีอัตราการย่อส่วน 1:333

$$\begin{aligned}
 T_m &= \frac{\lambda_L T_P}{\lambda_V} \\
 &= \frac{1 \cdot 40 \cdot 3600}{333 \cdot 12} \quad \text{วินาที} \\
 &= 36.00 \quad \text{วินาที}
 \end{aligned}$$

กรณีอัตราการย่อส่วน 1:500

$$\begin{aligned}
 T_m &= \frac{\lambda_L T_P}{\lambda_V} \\
 &= \frac{1 \cdot 40 \cdot 3600}{500 \cdot 12} \quad \text{วินาที} \\
 &= 24.00 \quad \text{วินาที}
 \end{aligned}$$

6.2 ความถี่สูงสุดของคลื่นการทดสอบที่สนใจ, f_{int}

ในงานวิจัยวัดความดันนี้ เลือกความถี่สูงสุดที่สนใจเท่ากับ 40 เฮิร์ต เนื่องจาก

1. คลื่นสัญญาณที่วัดได้ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยคลื่นที่มีความถี่ต่ำจะมีคลื่นรบกวน (Noise Signal) อยู่ด้วย และมีความถี่ของกระแสไฟฟ้า คือ 50 เฮิร์ต ผสมอยู่ด้วย ดังนั้นในการทดสอบจึงต้องกรองและลดทอนสัญญาณที่ไม่ต้องการ โดยกำหนดความถี่สูงสุดที่สนใจเท่ากับ 40 เฮิร์ต
2. เป็นความถี่สูงสุดที่สนใจ เช่นเดียวกับที่หน่วยปฏิบัติการและวิจัยทางอุโมงค์ลม มหาวิทยาลัยเวสเทินออนตารีโอ ประเทศแคนาดา กำหนดใช้ ในงานทดสอบที่มีลักษณะเดียวกัน
3. การจัดท่อยูรีเทนและรีสติคเตอร์ ในงานวิจัยนี้ ดังรูปที่ 2.14 ในหัวข้อ 7.4 ของบทที่ 2 พบว่าค่าทรานสเฟอร์ฟังก์ชันสำหรับการจัดท่อยูรีเทนจะให้ผล 0.99 ในช่วงความถี่ 0 – 50 เฮิร์ต

6.3 ความถี่ของการเก็บข้อมูล (Sampling Rate, f_{sp})

ความถี่ของการสุ่มข้อมูล จะมีผลกระทบต่อคุณภาพและขนาดของข้อมูล

1. ถ้าเก็บด้วยความถี่ต่ำ ขนาดของข้อมูลจะเล็ก แต่อาจจะทำให้เกิดปัญหาของความถูกต้องได้ เพราะการเก็บข้อมูลด้วยความถี่ต่ำ จะเป็นการเก็บข้อมูลที่หายาก
2. ถ้าเก็บด้วยความถี่สูง ความถูกต้องของข้อมูลจะมีมาก แต่จะทำให้ขนาดของข้อมูลใหญ่ทำให้สิ้นเปลือง ตัวยานที่เก็บข้อมูล

Stephen J. Gumley [14] บอกว่า ความถี่ของการเก็บข้อมูลนั้นอย่างน้อยจะต้องเป็น 2 เท่าของความถี่สูงสุดที่กำลังสนใจ โดยไม่ไปกระทบต่อคุณภาพความถูกต้องของข้อมูลมากนักและเพื่อให้การเก็บข้อมูลถูกต้องและดี ดังนั้นจึงเก็บข้อมูลด้วย 2.5 เท่าของความถี่สูงสุดที่สนใจ โดยมีค่าตัวประกอบความปลอดภัยประกอบอยู่ด้วย

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad f_{sp} &> 2.5f_{int} \dots\dots\dots(3.3) \\ &> 2.5 * 40 = 100 \text{ เฮิร์ต} \end{aligned}$$

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำงานเก็บข้อมูลด้วยความถี่ 1000 เฮิร์ต

6.4 การปรับแก้ข้อมูล

เนื่องจากอุปกรณ์ในการทดสอบนี้จะมีค่าเริ่มต้นอยู่ด้วยเสมอ (Initial Signal) รวมทั้งมีการเปลี่ยนระดับของสัญญาณตามเวลา (Drift of Signal) ผลมอยู่ ดังนั้นในการทดสอบจึงต้องบันทึกสัญญาณในช่วงเริ่มต้นก่อนการทดสอบและช่วงท้ายหลังการทดสอบด้วยเสมอ เพื่อจะเอาไปทำการปรับแก้สัญญาณในช่วงการทดสอบ โดยมีข้อสมมติฐานเกี่ยวกับการเปลี่ยนระดับของสัญญาณว่าแปรเปลี่ยนเชิงเส้นกับเวลา ดังนั้นในขณะที่ทดสอบจึงต้องทำการบันทึกสัญญาณพร้อมกับเวลาไปด้วย

ในการทดสอบจะต้องทำการเก็บข้อมูลดังนี้

- ช่วงที่ 1 สัญญาณช่วงเริ่มต้นและเวลาที่บันทึกสัญญาณ
- ช่วงที่ 2 สัญญาณขณะที่ทำการทดสอบและเวลาที่บันทึกสัญญาณ
- ช่วงที่ 3 สัญญาณหลังการทดสอบ และเวลาที่บันทึกสัญญาณ

หลังจากนั้นจึงมาทำการปรับแก้สัญญาณดังนี้

1. ทำการปรับแก้ผลจากสัญญาณเริ่มต้น โดยเอาขนาดของสัญญาณเริ่มต้นไปหักออกจากสัญญาณช่วงที่ 1 – 3
2. ทำการปรับแก้ผลจากการเปลี่ยนระดับของสัญญาณ โดยปรับแก้ตามเวลา นำไปหักออกจากสัญญาณช่วงที่ 1-3

ผลจากการปรับแก้นี้ได้ สัญญาที่ทำการแก้ไขแล้วมีลักษณะดังนี้

1. สัญญาช่วงเริ่มต้นจะมีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์
2. สัญญาช่วงท้ายหลังการทดสอบจะมีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์

ซึ่งตรงกับสภาพความเป็นจริงที่ว่าในขณะที่ไม่มีการทดสอบสัญญาต่าง ๆ ควรจะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ระดับศูนย์



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY