

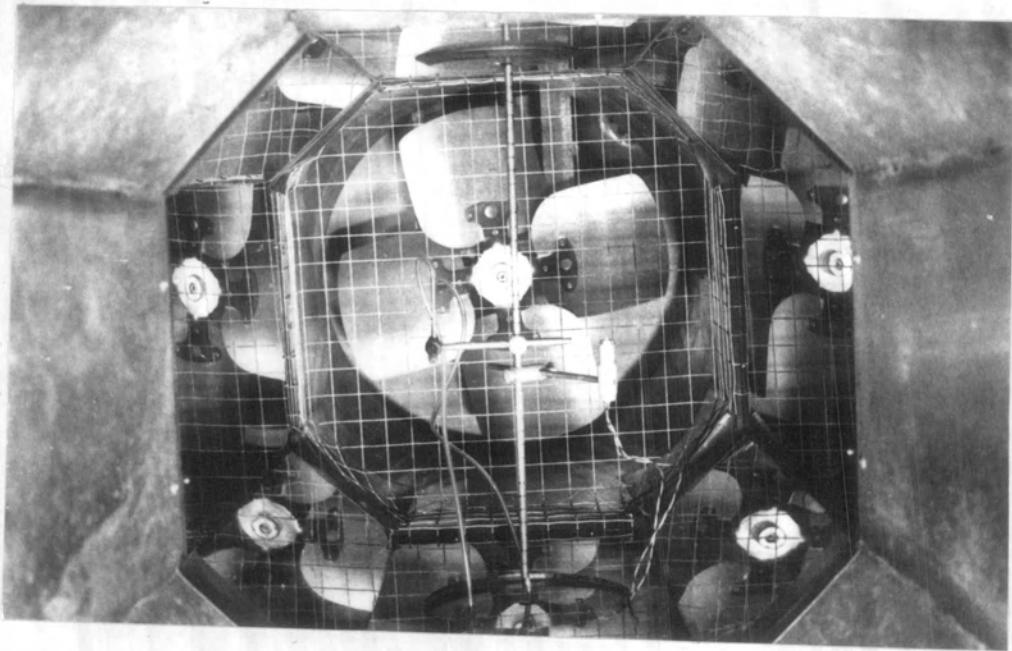
บทที่ 6

การทดลอง



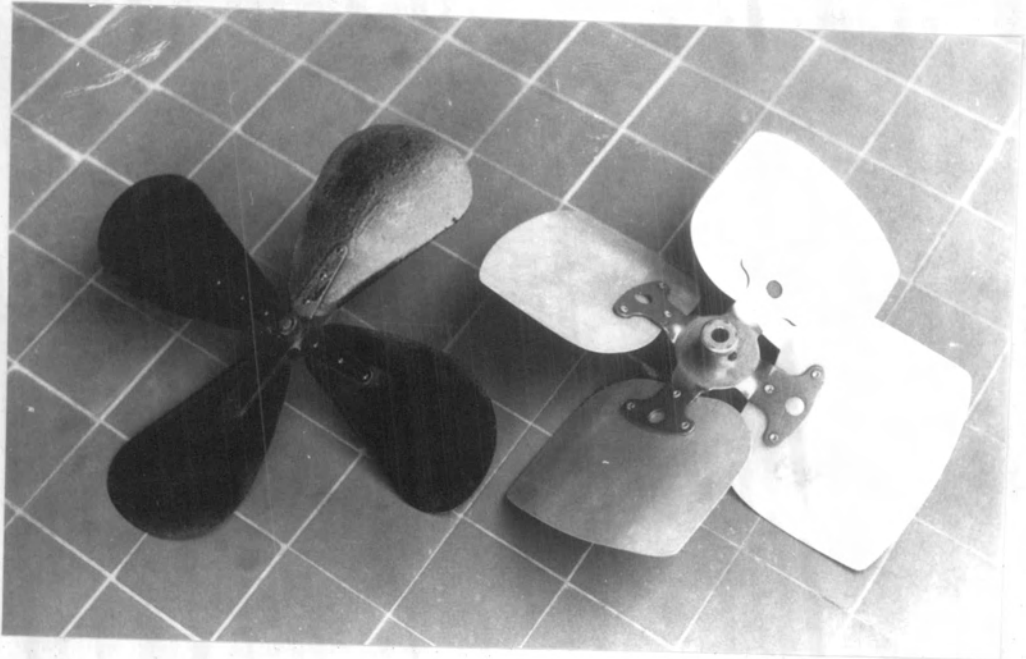
6.1 การสร้างกราฟเทียบค่าของแอนิเมเตอร์เส้นลวดร้อน

เนื่องจากอุโมงค์ลมที่สร้างจะมีบริเวณที่มีอัตราเร็วลมเกือบสม่ำเสมอบริเวณตอนกลางของส่วนใช้งาน และบริเวณนี้เอง วางท่อปิดตอ-สแตติก และแอนิเมเตอร์เส้นลวดร้อน ดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 ภาพถ่ายการจัดเครื่องมือในการสร้างกราฟเทียบค่า

การวางแอนิเมเตอร์เส้นลวดร้อน จะต้องจัดให้ความยาวของเส้นลวดร้อนตั้งฉากกับทิศของการไหลของลม ในที่นี้ใช้อัตราเร็วลม 6 ค่าโดยใช้ใบพัด 2 ใบ ดังรูปที่ 6.2 ใบพัดทั้ง 2 มีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากันแต่ใบสีขาวมีมุมบิด (pitch angle) มากกว่าใบสีดำ ทำให้ดูดลมได้ปริมาณมาก



รูปที่ 6.2 ภาพถ่ายใบพัดที่ใช้เปลี่ยนค่าอัตราเร็วลม

อัตราเร็วเชิงมุมของแกนใบพัดจะเปลี่ยนโดยการเปลี่ยนรอกสายพานที่แกมมอเตอร์ และแกนใบพัด และจากการใช้ท่อปิดต-สแตติกวัดหาอัตราเร็วลมในบริเวณที่มีอัตราเร็วลมสม่ำเสมอ ได้ค่าดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1

	D' : D	v (m/s)
ใบพัดสีดำ	8 : 3	2.9
	6 : 3	3.5
	5 : 3	4.2
ใบพัดสีขาว	8 : 3	5.8
	6 : 3	7.3
	5 : 3	8.4

ข้อมูลที่ได้ข้างต้น กระทำขณะอากาศอุณหภูมิ 30°C ความดัน 75.820 cm of Hg.

ในการสร้างกราฟเทียบค่า เมื่อจัดอุปกรณ์ดีแล้ว ทำการทดลองโดยแต่ละค่าอัตราเร็ว
ลมใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมเส้นลวดร้อนเริ่มต้น 0.2, 0.4 และ 0.6 โวลต์
ตามลำดับดังนี้

ให้ V แทนความต่างศักย์ไฟฟ้าตกคร่อมเส้นลวดร้อนตอนเริ่มต้น

V_w แทนความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมเส้นลวดร้อนที่ทำให้วงจรมอเตอร์
เมื่อมีลมพัดผ่าน

v แทนอัตราเร็วลมที่ผ่านเส้นลวดร้อน

ตารางที่ 6.2.1

$v = 2.9 \text{ (m/s)}$		
$V \text{ (volt)}$	$V_w \text{ (volt)}$	$V_w^2 \text{ (volt)}^2$
0.2	0.29	0.0841
0.4	0.56	0.3136
0.6	0.56	0.5184

ตารางที่ 6.2.2

$v = 3.5 \text{ (m/s)}$		
$V \text{ (volt)}$	$V_w \text{ (volt)}$	$V_w^2 \text{ (volt)}^2$
0.2	0.31	0.0961
0.4	0.60	0.3600
0.6	0.76	0.5776

ตารางที่ 6.2.3

$v = 4.2 \text{ (m/s)}$		
$V \text{ (volt)}$	$V_w \text{ (volt)}$	$V_w^2 \text{ (volt)}^2$
0.2	0.33	0.1089
0.4	0.62	0.3844
0.6	0.79	0.6241

ตารางที่ 6.2.4

$v = 5.8 \text{ (m/s)}$		
$V \text{ (volt)}$	$V_w \text{ (volt)}$	$V_w^2 \text{ (volt)}^2$
0.2	0.35	0.1225
0.4	0.66	0.4356
0.6	0.86	0.7396

ตารางที่ 6.2.5

$v = 7.3 \text{ (m/s)}$		
$V \text{ (volt)}$	$V_w \text{ (volt)}$	$V_w^2 \text{ (volt)}^2$
0.2	0.38	0.1444
0.4	0.70	0.4900
0.6	0.90	0.8100

ตารางที่ 6.2.6

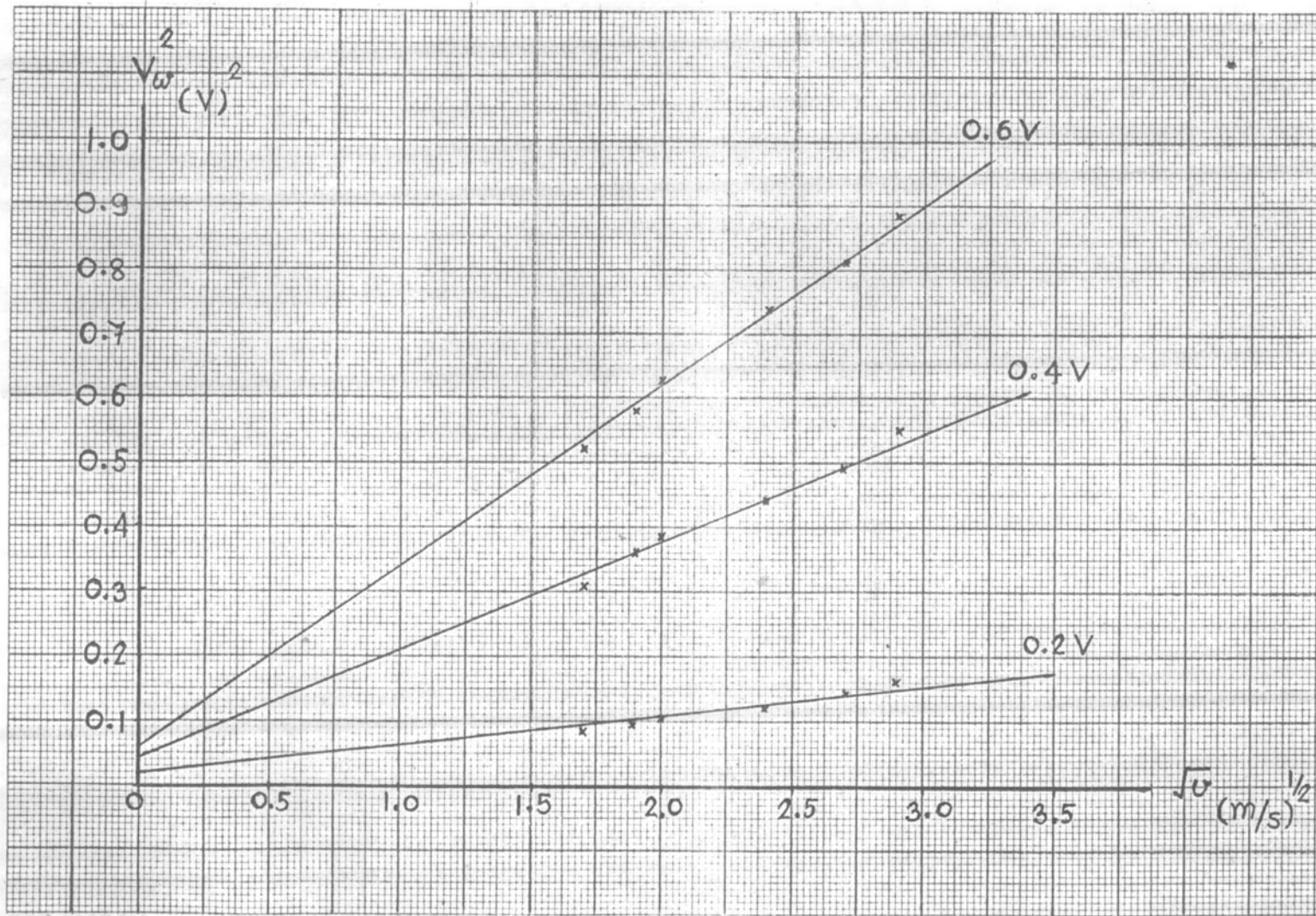
$v = 8.4 \text{ (m/s)}$		
$V \text{ (volt)}$	$V_w \text{ (volt)}$	$V_w^2 \text{ (volt)}^2$
0.2	0.40	0.1600
0.4	0.74	0.5476
0.6	0.94	0.8836

เมื่อนำตารางที่ 6.2 มาเขียนเป็นตารางของ V_w^2 กับ \sqrt{v} ณ V มีค่าต่าง ๆ
กับ จะได้ดังตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3

		$V_w^2 \text{ (v)}^2$		
$v \text{ (m/s)}$	$v \text{ (m/s)}^{\frac{1}{2}}$	0.2 V	0.4 V	0.6 V
2.9	1.7	0.0841	0.3136	0.5184
3.5	1.9	0.0961	0.3600	0.5776
4.2	2.0	0.1089	0.3844	0.6241
5.8	2.4	0.1225	0.4356	0.7396
7.3	2.7	0.1444	0.4900	0.8100
8.4	2.9	0.1600	0.5476	0.8836

นำข้อมูลจากตารางที่ 6.3 ไปเขียนกราฟระหว่าง V_w^2 กับ \sqrt{v} จะได้ดังรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.3 กราฟเทียบค่าหาอัตราเร็วลมของแอนนิโมมิเตอร์เส้นลวดร้อน

6.2 ศึกษาการแผ่กระจายความเร็วบนแบบจำลอง

ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ว่าการแผ่กระจายความเร็วเขียนได้ 2 แบบ คือ เขียนโดยใช้เส้นตรงมีหัวลูกศรบอกทิศทาง และความยาวของเส้นตรงจะแทนขนาดความเร็ว อีกแบบหนึ่งจะเขียนเป็นเส้นโค้ง ซึ่งเรียกว่า "โปรไฟล์ ความเร็ว" (velocity profile)

การทดลองหาการแผ่กระจายความเร็วบนแบบจำลองให้วางแบบจำลองในบริเวณที่มีความเร็วสม่ำเสมอของส่วนใช้งาน และใช้แอนนิโมมิเตอร์เส้นลวดร้อนวัดหาอัตราเร็วลมบนแบบจำลอง

ให้ V_w' เป็นความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมเส้นลวดร้อน แล้วทำให้วงจรบริดจ์สมดุลขณะมีลมพัด เมื่อวางเส้นลวดร้อนไว้หน้าแบบจำลอง

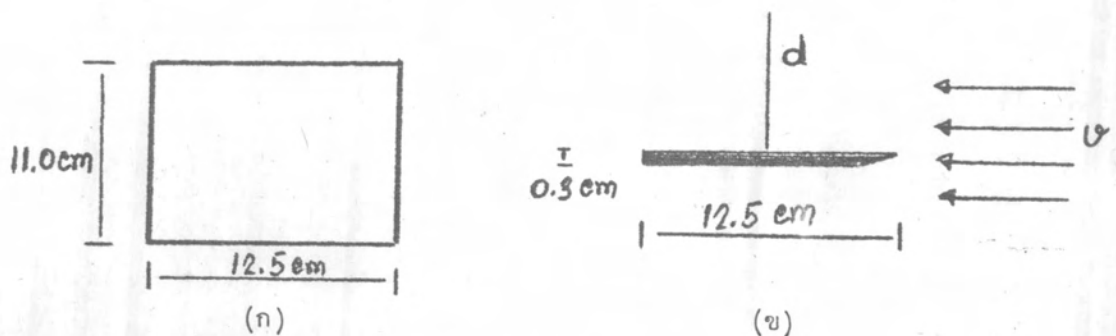
V_w เป็นความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมเส้นลวดร้อน แล้วทำให้วงจรบริดจ์สมดุล ขณะมีลมพัด เมื่อวางเส้นลวดร้อนไว้ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ บนแบบจำลอง

v' เป็นความเร็วของลมก่อนผ่านแบบจำลอง

v เป็นความเร็วของลม ณ ตำแหน่งต่าง ๆ บนแบบจำลอง

d เป็นระยะที่เส้นลวดร้อนห่างจากผิวแบบจำลอง ในแนวตั้งฉาก

6.2.1 การทดลองหาการแผ่กระจายความเร็วบนแบบจำลอง แผ่นระนาบเกลี้ยงบางขนาด $11.0 \times 12.5 \text{ cm}^2$ ทน 0.3 cm จัดแบบจำลองดังรูปที่ 6.4 (ข)



รูปที่ 6.4 (ก) แสดงขนาดของแบบจำลองแผ่นระนาบเกลี้ยงบาง
(ข) แสดงการจัดแบบจำลองปะทะลม

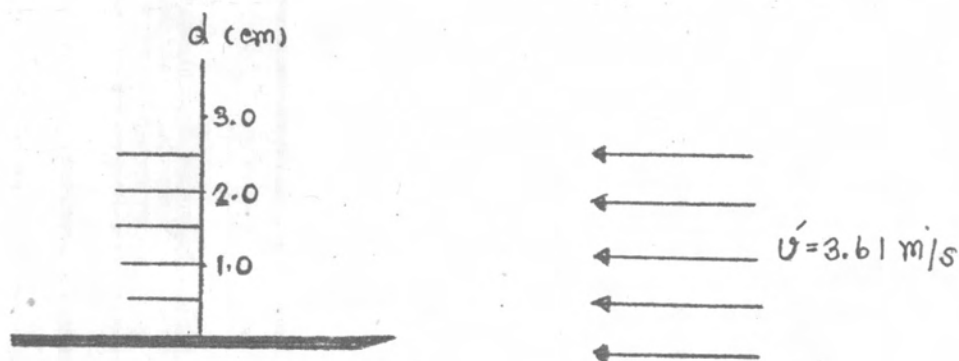
ใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าตกคร่อมเส้นลวดร้อน เริ่มต้น 0.4 โวลต์ ขณะปั๊มปรับศูนย์
อยู่ที่ Min เมื่อวัดความเร็วลมในแนวตั้งฉากกับแผ่นระนาบที่ระยะทางต่าง ๆ กัน ได้ผลดัง
ตารางที่ 6.4

วัด V_w' ได้ 0.6 V จากกราฟเทียบค่าได้ $v' = 3.61$ m/s

ตารางที่ 6.4

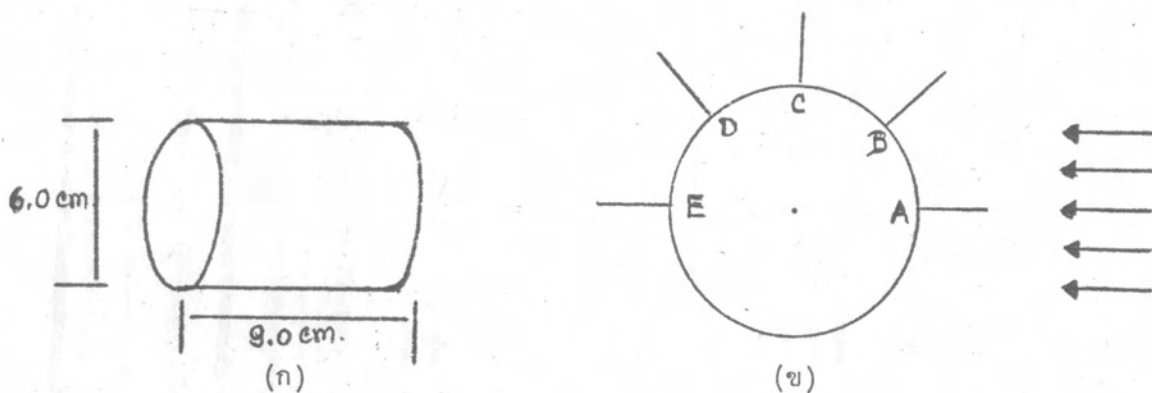
d (cm)	V_w (V)	v (m/s)
0.5	0.58	3.06
1.0	0.59	3.42
1.5	0.60	3.61
2.5	0.60	3.61

จากตารางที่ 6.4 นำมาเขียนการแผ่กระจายความเร็วได้ดังรูปที่ 6.5



รูปที่ 6.5 แสดงการแผ่กระจายความเร็วบนแผ่นระนาบ เกลี้ยงบาง

6.2.2 การทดลองหาการแผ่กระจายความเร็วบนแบบจำลองรูปทรงระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.0 cm จัดแบบจำลองดังรูปที่ 6.6 (ข)



รูปที่ 6.6 (ก) แสดงขนาดของแบบจำลองรูปทรงระบอก
(ข) แสดงการจัดแบบจำลองปะทะลม

ใช้ความต่างศักย์ศักย์ไฟฟ้าตกคร่อมเส้นลวดร้อนเริ่มต้น 0.4 โวลต์ ขณะที่ไม่ปรับศูนย์อยู่ที่ Min เมื่อวัดความเร็วลมในแนวตั้งฉากกับผิวแบบจำลอง ณ ตำแหน่ง A, B, C, D และ E ดังรูปที่ 6.6 (ข) ได้ผลดังตารางที่ 6.5

วัด v_w ได้ 0.6 v. จากกราฟเทียบค่าได้ $v' = 3.61 \text{ m/s}$

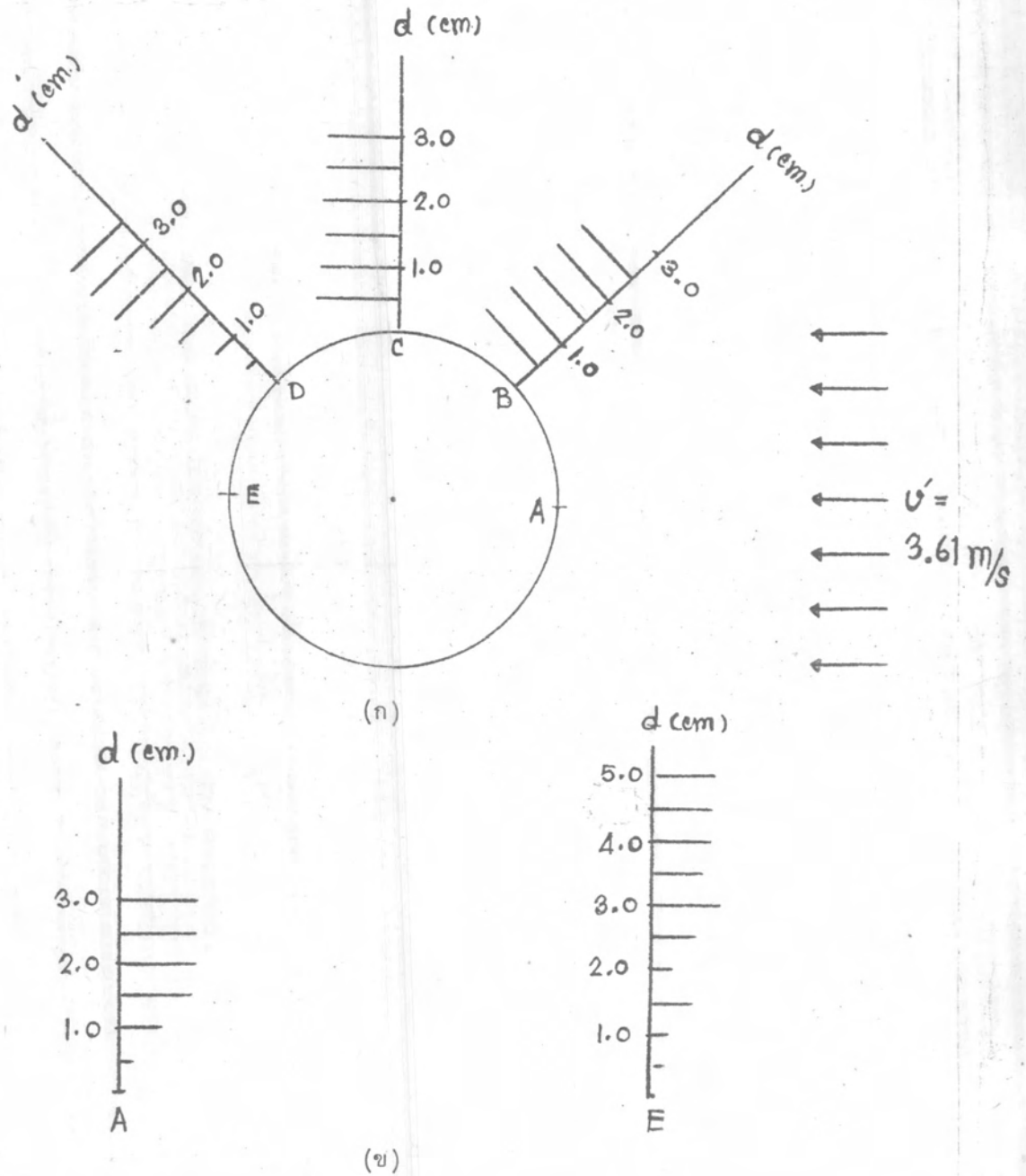
ตารางที่ 6.5

d (cm)	V_w (V)				
	A	B	C	D	E
0.5	0.42	0.61	0.62	0.42	0.41
1.0	0.52	0.61	0.61	0.49	0.42
1.5	0.58	0.60	0.61	0.55	0.53
2.0	0.60	0.60	0.60	0.57	0.45
2.5	0.60	0.60	0.60	0.60	0.52
3.0	0.60		0.60	0.60	0.58
3.5				0.60	0.54
4.0					0.56
4.5					0.57
5.0					0.57

เมื่อใช้กราฟเทียบค่า ตารางที่ 6.5 จะเขียนเป็นตารางที่ 6.6
ตารางที่ 6.6

d (cm)	v (m/s)				
	A	B	C	D	E
0.5	0.64	3.80	4.00	0.64	0.56
1.0	1.82	3.80	3.80	1.44	0.64
1.5	3.06	3.61	3.80	2.25	1.96
2.0	3.61	3.61	3.61	2.89	0.81
2.5	3.61	3.61	3.61	3.61	1.96
3.0	3.61		3.61	3.61	3.06
3.5				3.61	2.25
4.0					2.56
4.5					2.89
5.0					2.89

จากตารางที่ 6.6 นำมาเขียนการแผ่กระจายความเร็วได้ ดังรูปที่ 6.7



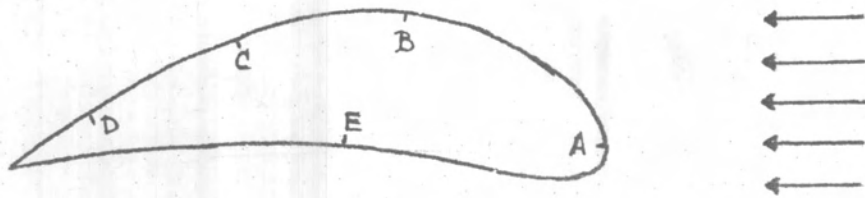
รูปที่ 6.7 แสดงการแผ่กระจายความเร็วในแนวตั้งฉากกับผิวทรงกระบอก

(ก) ที่ตำแหน่ง B, C และ D

(ข) ที่ตำแหน่ง A และ E

การแผ่กระจายความเร็วรูปที่ 6.7 เขียนเฉพาะค่าของความเร็ว (อัตราเร็ว) เท่านั้น เพราะไม่ทราบทิศทางการไหลว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร เมื่อผ่านทรงกระบอก ส่วนทิศทางการไหลในแนวตั้งฉากที่ตำแหน่ง A และ E ทิศความเร็ว v บริเวณ แนวทั้งสอง มีแนวโน้มที่มีทิศเดียวกับทิศทางไหลของลม ก่อนผ่านแบบจำลองรูปทรงกระบอก

6.2.3 การทดลองหาการแผ่กระจายความเร็วบนแบบจำลองรูปปีก เครื่องบิน จัดแบบจำลอง ดังรูปที่ 6.8



รูปที่ 6.8 แสดงการจัดแบบจำลองรูปปีกเครื่องบินให้ปะทะลมในแนวระดับ

ใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าตกคร่อมเส้นลวดร้อนเริ่มต้น 0.4 โวลต์ ขณะที่ไม่ปรับ ศูนย์อยู่ที่ Min เมื่อวัดความเร็วลมในแนวตั้งฉากกับผิวแบบจำลอง ณ ตำแหน่ง A, B, C, D และ E ดังรูปที่ 6.8 ได้ผลดังตารางที่ 6.7

วัด V'_w ได้ 0.6 V จากกราฟเทียบค่าได้ $v' = 3.61 \text{ m/s}$

ตารางที่ 6.7

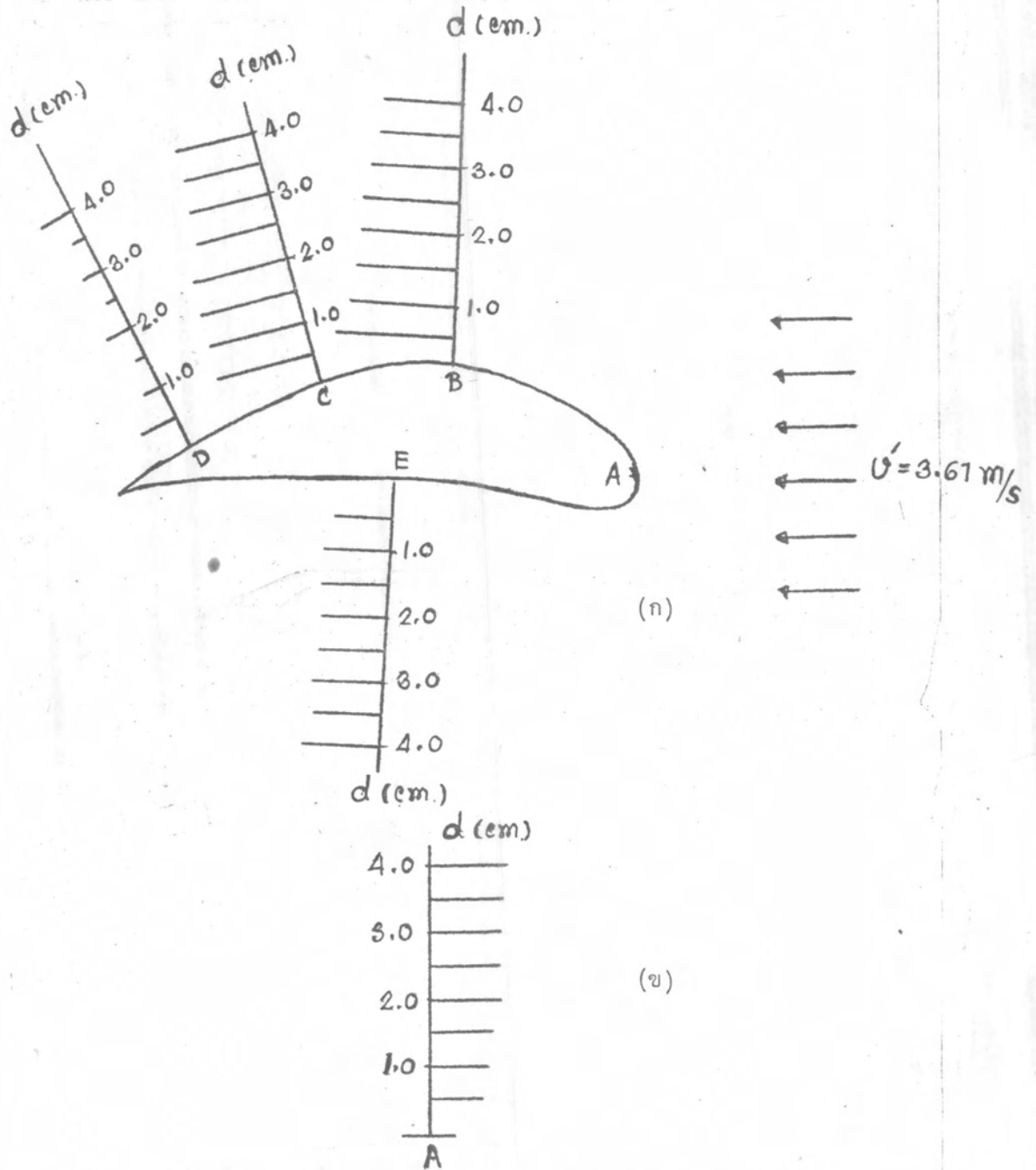
d(cm)	V_w (V)				
	A	B	C	D	E
0.5	0.56	0.66	0.64	0.53	0.57
1.0	0.57	0.65	0.64	0.46	0.58
1.5	0.58	0.64	0.64	0.45	0.58
2.0	0.59	0.64	0.64	0.48	0.58
2.5	0.60	0.64	0.62	0.42	0.58
3.0	0.60	0.63	0.62	0.46	0.59
3.5	0.60	0.62	0.62	0.44	0.59
4.0	0.60	0.62	0.62	0.50	0.60

เมื่อใช้กราฟเทียบค่า ตารางที่ 6.7 จะเขียนเป็นตารางที่ 6.8

ตารางที่ 6.8

d(cm)	v (m/s)				
	A	B	C	D	E
0.5	2.56	5.52	4.84	1.96	2.89
1.0	2.89	5.06	4.84	1.00	3.06
1.5	3.06	4.84	4.84	0.81	3.06
2.0	3.42	4.84	4.84	1.21	3.06
2.5	3.61	4.84	4.00	0.64	3.06
3.0	3.61	4.41	4.00	1.00	3.42
3.5	3.61	4.00	4.00	0.81	3.42
4.0	3.61	4.00	4.00	1.56	3.61

จากตารางที่ 6.8 นำมาเขียนการแผ่กระจายความเร็วได้ดังรูปที่ 6.9



รูปที่ 6.9 แสดงการแผ่กระจายความเร็วในแนวตั้งฉากกับผิวแบบ

จำลองรูปปีกเครื่องบิน

(ก) ที่ตำแหน่ง B, C, D และ E

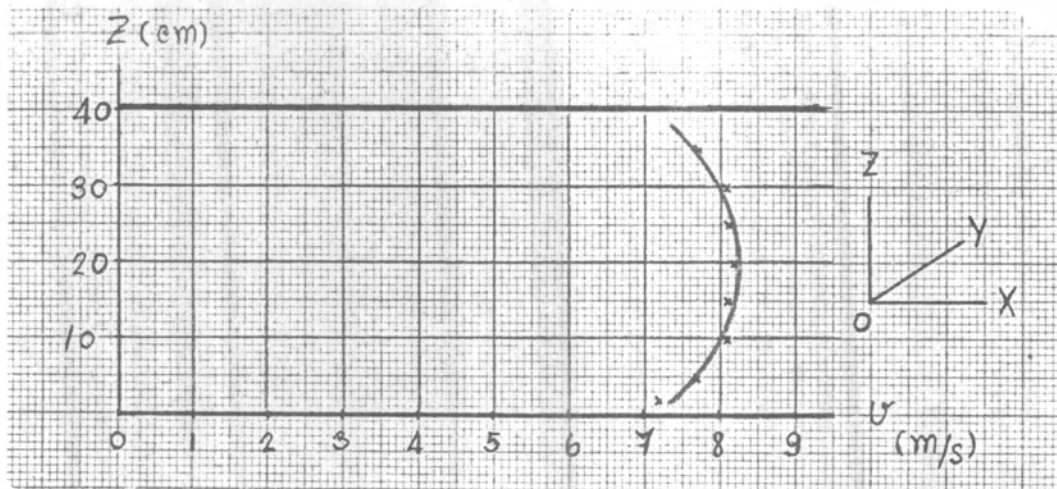
(ข) ที่ตำแหน่ง A

6.2.4 การทดลองหาการแผ่กระจายความเร็วระหว่างแผ่นขนาน 2 แผ่นที่อยู่นิ่ง ในที่นี้ วัดความเร็วลมระหว่างผนังของส่วนใช้งาน โดยใช้ท่อปีตอต-สแตติกวัดจากตำแหน่ง $(0, 0, 2]$ ถึง $(0, 0, 35]$ ในระนาบ ZX ห่างช่วงละ 5.0 cm ซึ่งทำไว้แล้วในการหาบริเวณ ที่มีความเร็วลมสม่ำเสมอของโมเมนต์ลม ในบทที่ 5 นำมาเขียนเป็นตารางได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 6.9.1

D' : D = 5 : 3								
Z (cm)	2	5	10	15	20	25	30	35
\bar{v} (m/s)	7.2	7.7	8.1	8.1	8.2	8.1	8.1	7.7

จะเขียนโปรไฟล์ความเร็วได้ดังรูปที่ 6.10

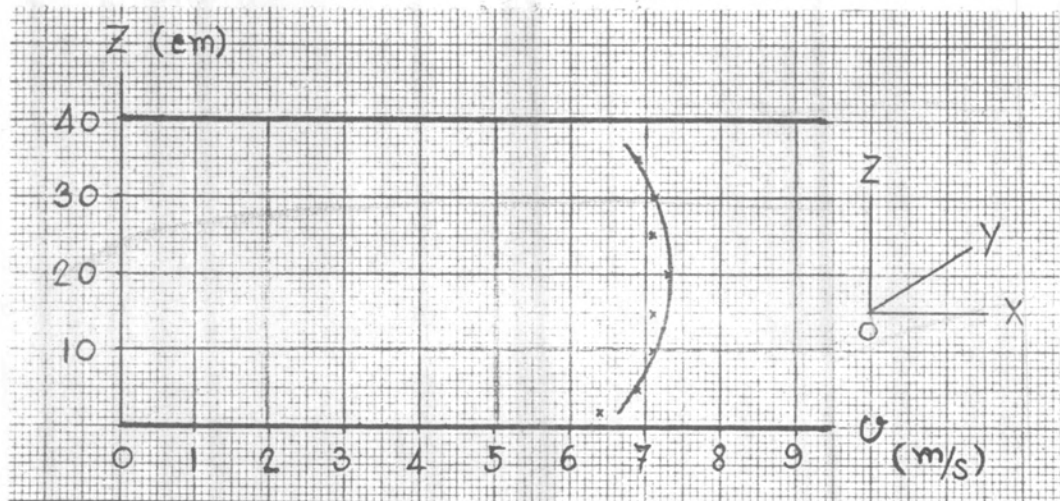


รูปที่ 6.10 แสดงโปรไฟล์ความเร็วระหว่างแผ่นขนาน 2 แผ่นอยู่นิ่งเมื่อใช้ $D' : D = 5 : 3$

ตารางที่ 6.9.2

D' : D = 6 : 3								
Z (cm)	2	5	10	15	20	25	30	35
\bar{v} (m/s)	6.4	6.9	7.1	7.1	7.3	7.1	7.1	6.9

เขียนโปรไฟล์ความเร็วได้ดังรูปที่ 6.11

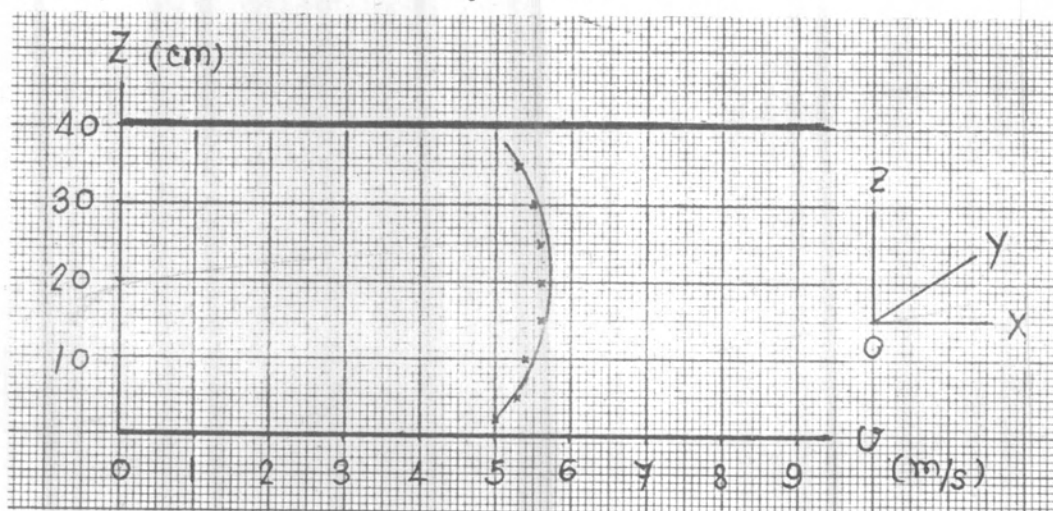


รูปที่ 6.11 แสดงโปรไฟล์ความเร็วระหว่างแผ่นขนาน 2 แผ่นอยู่นิ่งเมื่อใช้ D' : D = 6 : 3

ตารางที่ 6.9.3

D' : D = 8.3								
Z (cm)	2	5	10	15	20	25	30	35
\bar{v} (m/s)	5.0	5.3	5.4	5.6	5.6	5.6	5.5	5.3

เขียนโปรไฟล์ความเร็วได้ดังรูปที่ 6.12



รูปที่ 6.12 แสดงโปรไฟล์ความเร็วระหว่างแผ่นขนาน 2 แผ่นอยู่นิ่งเมื่อใช้ D' : D = 8:3

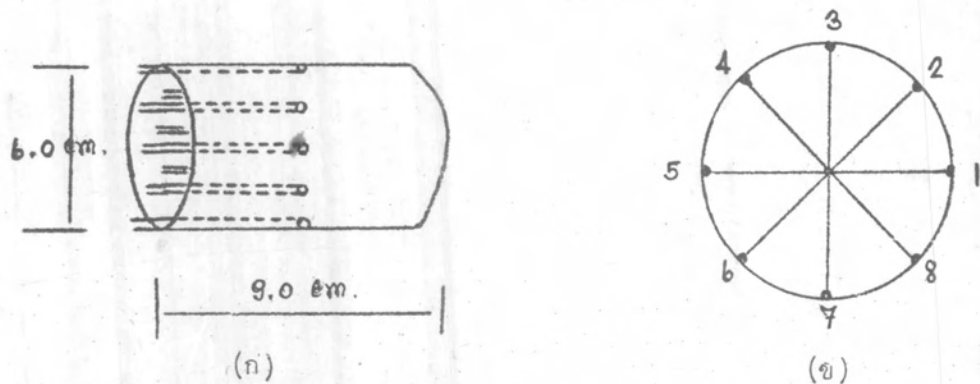
6.3 ศึกษาการแผ่กระจายความดันบนแบบจำลอง

แบบจำลองที่จะใช้ศึกษามี 3 แบบ คือ

6.3.1 รูปทรงกระบอก (cylindrical shape)

แบบจำลองนี้ทำด้วยท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.0 cm ยาว 9.0 cm

เจาะรูที่ผิวท่อ 8 รู ดังรูปที่ 6.13



รูปที่ 6.13 แสดงขนาดของแบบจำลองรูปทรงกระบอก

(ก) ด้านข้าง

(ข) ภาควัดขวาง

รูที่เจาะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.4 cm ใช้ท่อแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.4 cm ยาวประมาณ 5 cm 8 แท่ง แต่ละแท่งปลายข้างหนึ่งจะติดกับรูที่เจาะ โดยแท่งแก้วทั้งหมดอยู่ในทรงกระบอก นำแบบจำลองนี้ไปตั้งในบริเวณความเร็วลมสม่ำเสมอของส่วนใช้งานในอุโมงค์ลม จัดให้แนวแกนท่อตั้งฉากกับทิศทางไหลของลม ในการวัดความดันบนแบบจำลองให้ต่อท่อสายยางจากแท่งแก้วของแบบจำลอง ไปยังแท่งแก้วเหียงของแมโนมิเตอร์แบบเหียง ทำเช่นเดียวกันนี้กับทุกจุดบนแบบจำลองที่ต้องการวัดความดัน จะเห็นว่าที่แท่งแก้วแท่งสั้นของแมโนมิเตอร์ปล่อยว่างไว้ไม่ได้ต่อกับอะไร นั้นแสดงว่าความดันบนผิวแบบจำลองวัดเทียบกับความดันบรรยากาศนั่นเอง

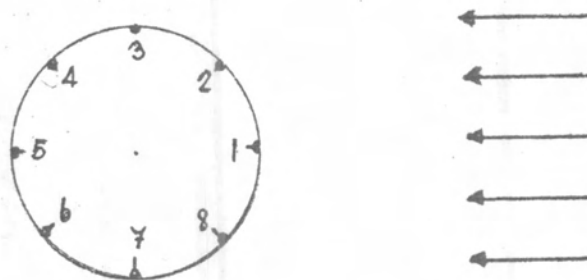
- ให้ P_o เป็นความดันบรรยากาศ
- P เป็นความดันสถิตที่แบบจำลอง
- $P - P_o$ เป็นความดันสถิตสัมพัทธ์ (relative pressure) บนแบบจำลอง
เทียบกับความดันบรรยากาศ
- P' เป็นความดันสถิตของลมก่อนที่จะผ่านแบบจำลอง
- $P' - P_o$ เป็นความดันสถิตสัมพัทธ์ของลมก่อนที่จะผ่านแบบจำลอง เทียบกับความดัน
บรรยากาศ

ค่าของ $P - P_o$ และ $P' - P_o$ จะบอกเป็นความยาวของลำน้ำมันก้าดในท่อแก้ว
เอียงของแมนอมิเตอร์แบบเอียง โดยที่ค่า $P' - P_o$ วัดด้วยท่อวัดความดันสถิต จากท่อ
ปิดตอ - สแตติก โดยทั่วไปความดันสถิตบนผิวแบบจำลองนิยมบอกเป็นความดันสถิตสัมพัทธ์เทียบ
กับความดันสถิตของลมก่อนที่จะผ่านแบบจำลอง

ให้ $P - P'$ เป็นความดันสถิตสัมพัทธ์บนผิวแบบจำลอง เทียบกับความดันสถิตของลม
ก่อนผ่านแบบจำลอง

$$P - P' = (P - P_o) - (P' - P_o) \tag{6.1}$$

ในการทดลอง จัดให้แบบจำลองรูปทรงกระบอกปะทะลมดังรูปที่ 6.14



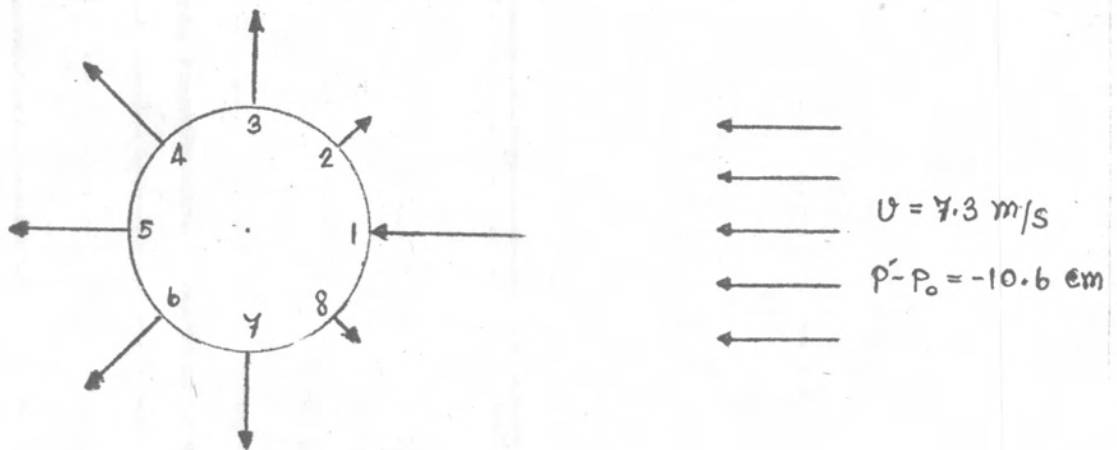
รูปที่ 6.14 แสดงการจัดให้แบบจำลองรูปทรงกระบอกปะทะลม

ต่อไปนี้เป็นผลการทดลองโดยใช้ $v = 2.7 \text{ m/s}$, $P' - P_0 = -10.6 \text{ cm.}$, $l_0 = 14.8 \text{ cm}$, $\tan \theta = \frac{3}{45}$, $t = 31.0 \text{ }^\circ\text{C}$. ได้ข้อมูลดังตารางที่ 6.10

ตารางที่ 6.10

รูที่	1	2	3	4	5	6	7	8
$P - P_0(\text{cm})$	-4.2	-11.5	-13.1	-13.3	-13.5	-13.3	-13.1	-11.4
$P - P'(\text{cm})$	6.4	-0.9	-2.5	-2.7	-2.9	-2.7	-2.5	-0.8

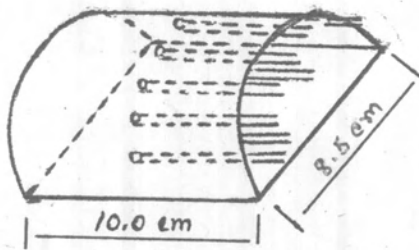
เมื่อนำข้อมูลตารางที่ 6.10 มาเขียนการแผ่กระจายความดันบนแบบจำลองได้ดังรูปที่ 6.15



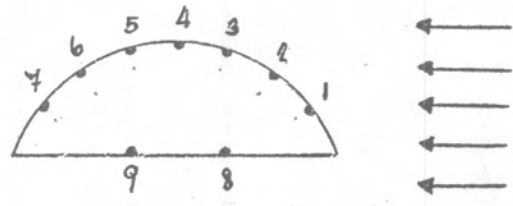
รูปที่ 6.15 แสดงการแผ่กระจายความดันบนแบบจำลองรูปทรงกระบอก

6.3.2 รูปเสี้ยวทรงกระบอก (phase of cylinder shape)

แบบจำลองนี้ทำด้วยท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.0 cm สูง 10.0 cm ผ่าตามยาวห่างจากแนวเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ $\frac{1}{3}$ ของรัศมีของท่อ



(ก)



(ข)

รูปที่ 6.16 แสดงขนาดของแบบจำลองรูปเสี้ยวทรงกระบอก

(ก) ด้านข้าง

(ข) ภาคตัดขวาง

ปิดด้านที่ถูกตัดออกไปด้วยแผ่นพีวีซี แล้วเจาะรูที่ผิวโค้ง 7 รู ที่ผิวราบ 2 รู ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.4 cm ดังรูปที่ 6.16 ใช้ท่อแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.4 cm ยาวประมาณ 5 - 6 cm ๑) แห่ง แต่ละแห่งปลายข้างหนึ่งจะติดกับรูที่เจาะ โดยแทงแก้วทั้งหมด จะอยู่ในแบบจำลอง ในการศึกษาการแผ่กระจายความดันบนผิวแบบนี้ก็ทำเช่นเดียวกับแบบจำลองรูปทรงกระบอก

ต่อไปนี้เป็นผลการทดลองโดยใช้

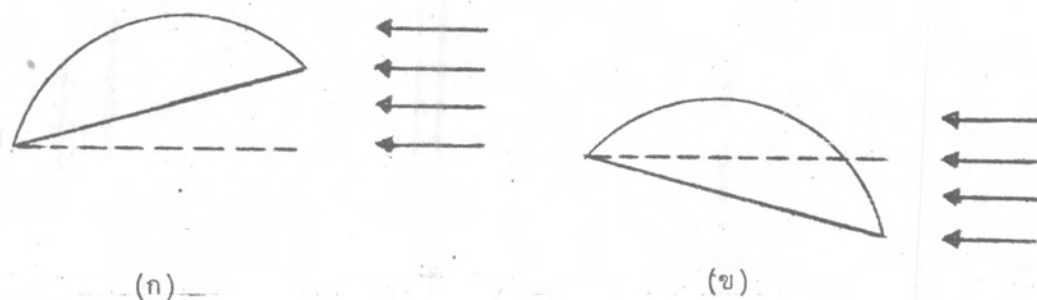
$$v = 7.3 \text{ m/s}, P' - P_0 = -10.6 \text{ cm.}, l_0 = 14.8 \text{ cm}$$

$$\tan \theta = \frac{3}{4.5}, t = 31.0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

จัดให้แนวราบของแบบจำลองทำมุมกับทิศการไหลของกระแสลม ซึ่งเรียกว่า "มุมปะทะ"

(attack angle) ดังนี้คือ 0 องศา มุมเงย 15 องศา และมุมกด 15 องศา

ได้ข้อมูลดังตารางที่ 6.11

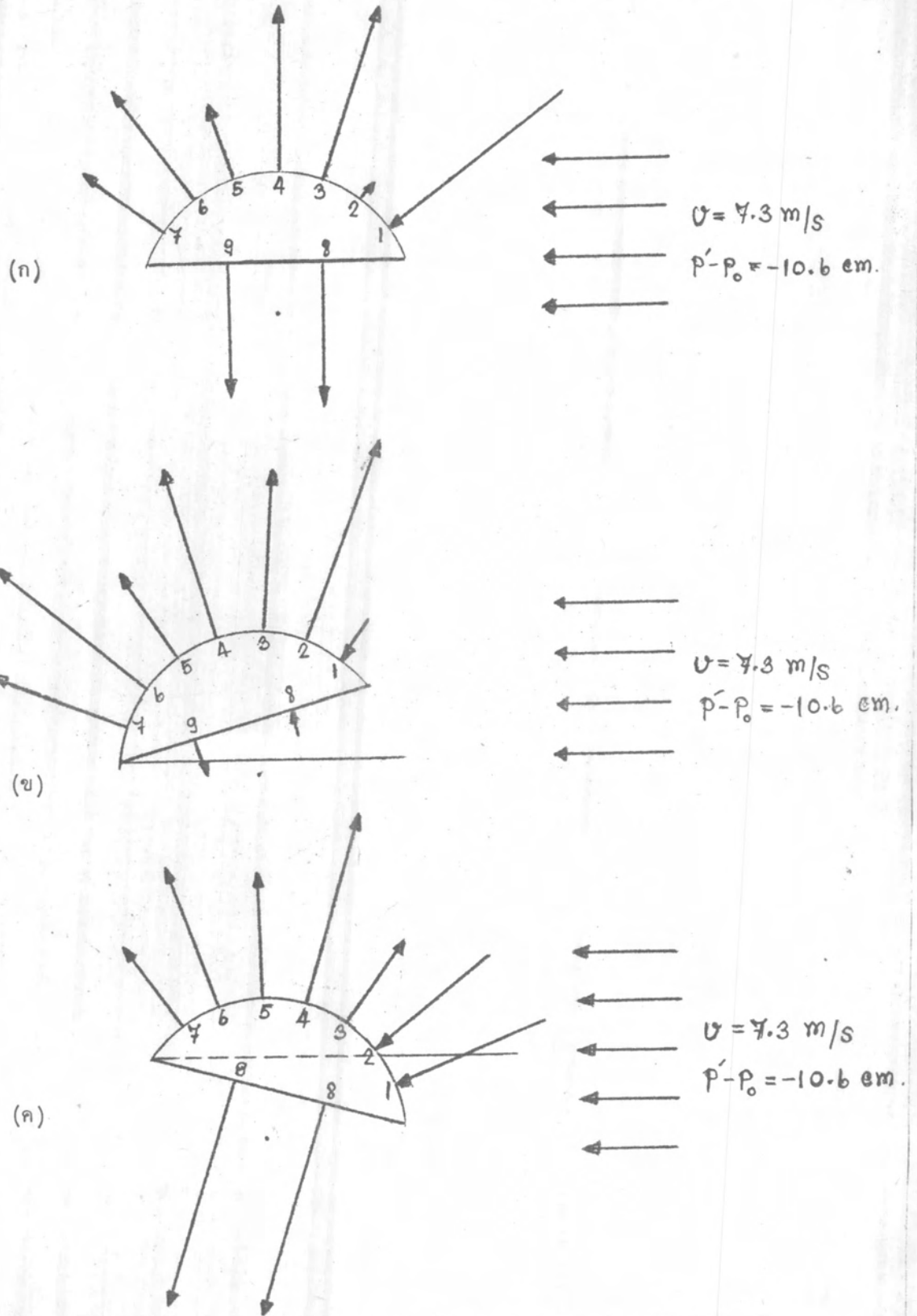


รูปที่ 6.17 แสดงมุมปะทะ (ก) มุมเงย (ข) มุมกด

ตารางที่ 6.11

รูปที่	0 องศา		มุมเงย 15 องศา		มุมกด 15 องศา	
	$p - p_0$ (cm)	$p - p'$ (cm)	$p - p_0$ (cm)	$p - p'$ (cm)	$p - p_0$ (cm)	$p - p'$ (cm)
1	- 6.9	3.7	- 9.8	0.8	- 7.8	2.8
2	-10.9	- 0.3	-14.1	-3.5	- 8.2	2.4
3	-13.6	- 3.0	-13.3	-2.7	-12.3	-1.7
4	-12.7	- 2.7	-13.5	-2.9	-13.8	-3.2
5	-11.9	- 1.3	-12.3	-1.7	-12.7	-2.1
6	-12.9	- 2.3	-13.8	-3.2	-13.1	-2.5
7	-12.3	- 1.7	-13.1	-2.5	-12.2	-1.6
8	-12.9	- 2.3	-10.2	0.4	-14.2	-3.6
9	-12.8	- 2.2	-11.2	-0.6	-14.5	-3.9

เมื่อนำข้อมูลตารางที่ 6.11 มาเขียนการแผ่กระจายความดันบนแบบจำลอง
ไว้ดังรูปที่ 6.18

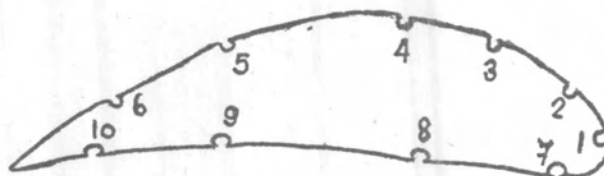


รูปที่ 6.18 แสดงการแผ่กระจายความดันบนแบบจำลองรูปเสี้ยวทรงกระบอก เมื่อมุมปะทะ

(ก) 0 องศา (ข) มุมเงย 15 องศา (ค) มุมกด 15 องศา

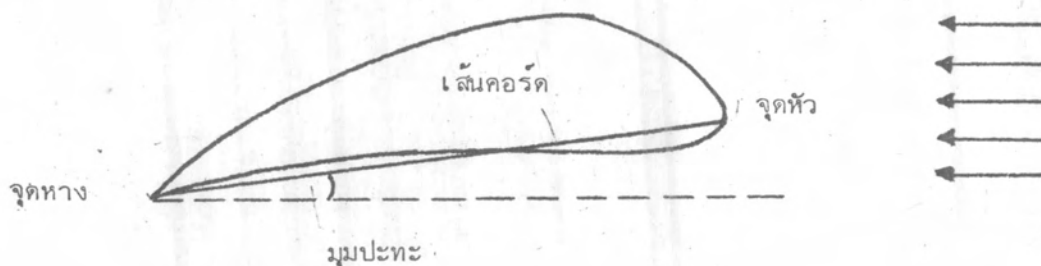
6.3.3 รูปปีกเครื่องบิน (aerobial shape)

แบบจำลองนี้ทำด้วยสังกะสีแผ่นเรียบพับเป็นรูปปีกเครื่องบินดังรูปที่ 6.19



รูปที่ 6.19 แสดงภาคตัดขวางของแบบจำลองรูปปีกเครื่องบิน

เส้นตรงที่ลากต่อระหว่างจุดหัว (leading edge) กับจุดหาง (trailing edge) ของปีกเครื่องบิน เรียกว่า "เส้นคอร์ด" (chord line) และเรียกมุมที่เกิดจากเส้นคอร์ด ตัดกับเส้นที่แสดงทิศทางการไหลของลมว่า "มุมปะทะ" (attack angle)



รูปที่ 6.20 แสดงเส้นคอร์ดและมุมปะทะของปีกเครื่องบิน

ผิวบนของปีก เจาะรู 6 รู และผิวล่างของปีก เจาะรู 4 รู ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.4cm

ดังรูปที่ 6.19 ใช้ท่อแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.4 cm ยาวแท่งละ 5 - 6 cm

10 แท่ง แต่ละปลายข้างหนึ่งจะติดกับรูที่เจาะ โดยแท่งแก้วทั้งหมดจะอยู่ในแบบจำลอง ในการศึกษา การแผ่กระจายความดันบนแบบจำลองนี้ก็ทำเช่นเดียวกับแบบจำลองรูปทรงกระบอก

ต่อไปนี้เป็นผลการทดลองโดยใช้

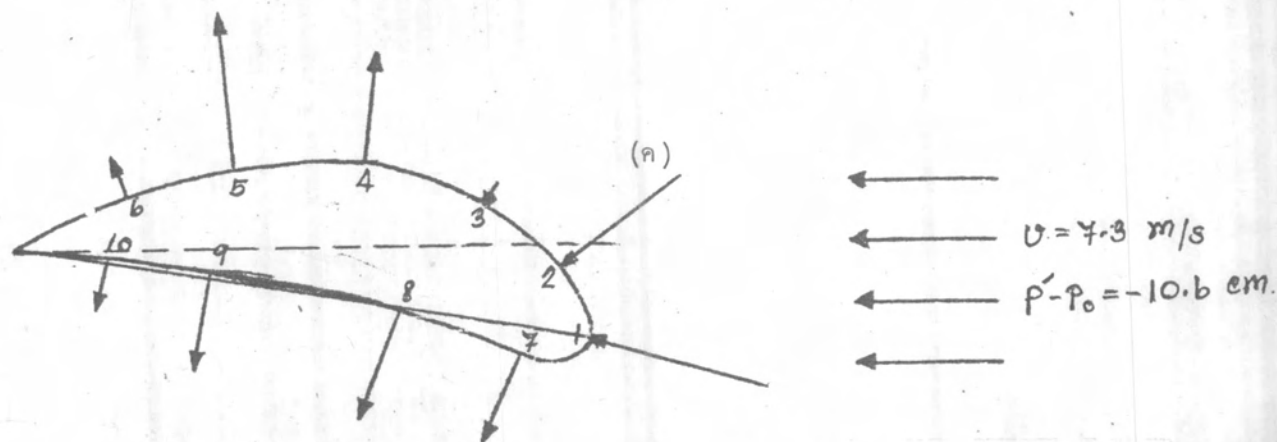
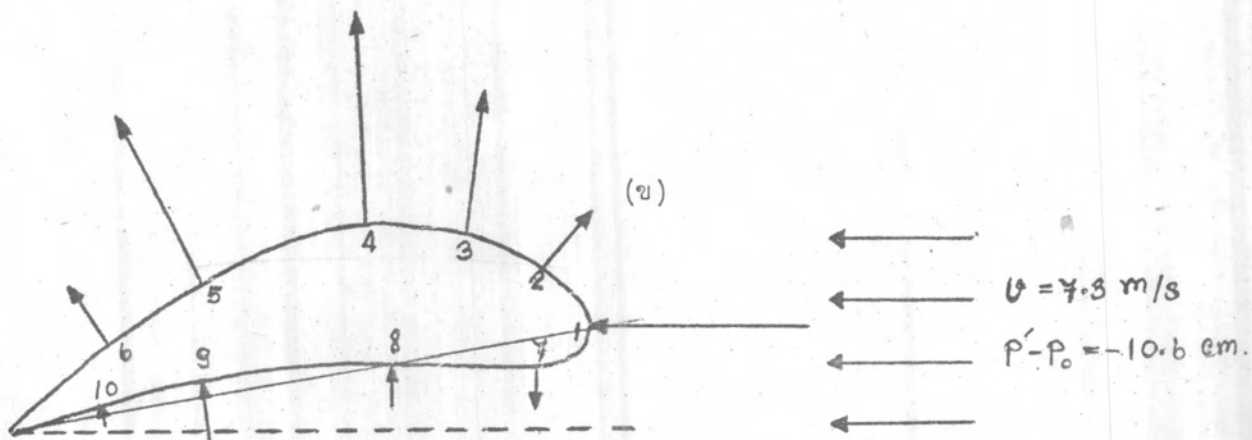
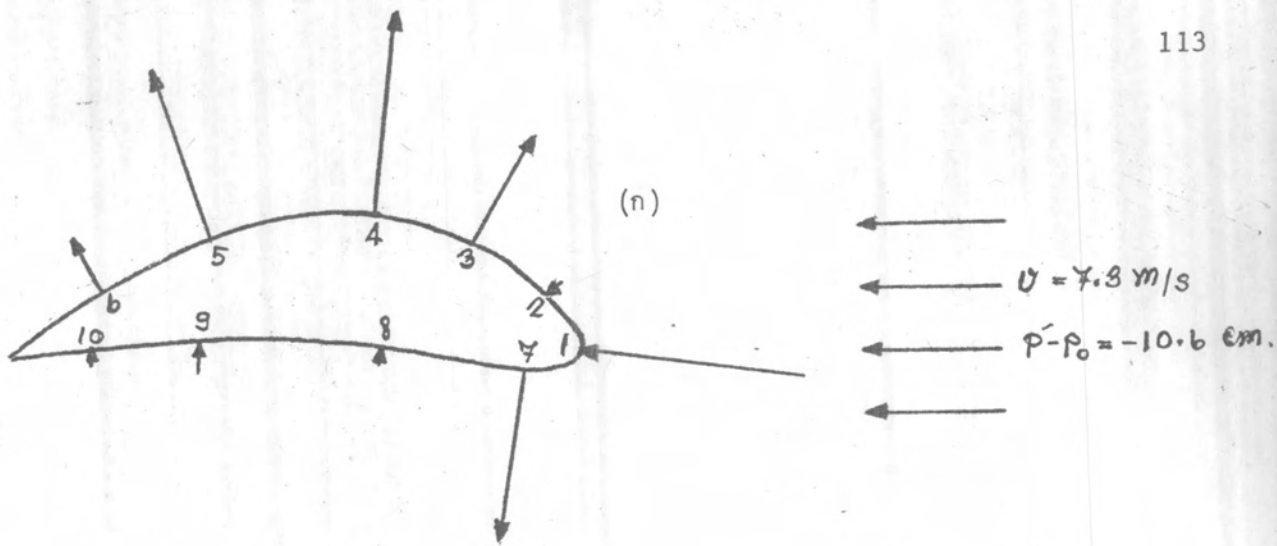
$$v = 7.3 \text{ m/s}, P' - P_0 = -10.6 \text{ cm}, l_0 = 14.8 \text{ cm}, \tan \theta = \frac{3}{45}, t = 31.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

จัดให้เส้นคอร์คของแบบจำลองทำมุมปะทะ 0 องศา มุมเงย 15 องศา และมุมกด 15 องศา ได้ข้อมูลดังตารางที่ 6.12

ตารางที่ 6.12

	0 องศา		มุมเงย 15 องศา		มุมกด 15 องศา	
	$P - P_0$ (cm)	$P - P'$ (cm)	$P - P_0$ (cm)	$P - P'$ (cm)	$P - P_0$ (cm)	$P - P'$ (cm)
1	-4.3	6.3	-4.5	6.1	-5.4	5.2
2	-10.1	0.5	-12.6	-2.0	-6.6	4.0
3	-13.7	-3.1	-14.4	-3.8	-10.0	0.6
4	-15.8	-5.2	-16.3	-5.7	-14.4	-3.8
5	-15.2	-4.6	-15.7	-5.1	-14.7	-4.1
6	-12.0	-1.4	-12.5	-1.9	-11.8	-1.2
7	-15.0	-4.4	-11.5	-0.9	-13.2	-2.6
8	-10.4	-0.2	-9.6	1.0	-13.7	-3.1
9	-9.9	0.7	-9.2	1.4	-13.2	-2.6
10	-10.3	0.3	-10.2	0.4	-11.7	-1.1

เมื่อนำข้อมูลตารางที่ 6.12 มาเขียนการแผ่กระจายความดันบนแบบจำลอง ได้ดังรูปที่ 6.21

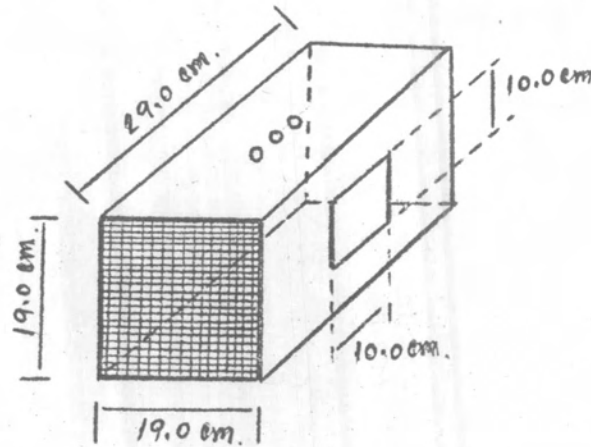


รูปที่ 6.21 แสดงการแผ่กระจายความดันบนแบบจำลองรูปปีกเครื่องบิน เมื่อมุมปะทะ

(ก) 0 องศา (ข) มุมเงย 15 องศา (ค) มุมกด 15 องศา

6.4 ศึกษาการสูญเสียอัตราเร็วลมเมื่อผ่านแบบจำลองห้องติดมุ้งลวด

แบบจำลองห้องติดมุ้งลวด ทำด้วยไม้อัดหนา 0.5 cm มีลักษณะเป็นกล่องขนาด $19.0 \times 19.0 \times 29.0 \text{ cm}^3$ ด้านหน้าติดมุ้งลวดหมด ด้านหลังปิดทึบ ด้านข้างด้านหนึ่งเจาะเป็นช่องขนาด $10.0 \times 10.0 \text{ cm}^2$ ด้านบนเจาะรูเล็ก ๆ 3 รู สำหรับใส่ท่อสายยาง ดังรูปที่ 6.22



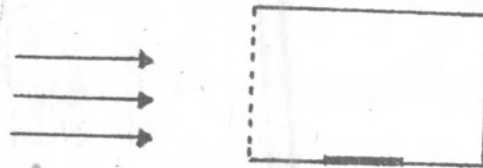
รูปที่ 6.22 แสดงขนาดของแบบจำลองห้องติดมุ้งลวด

ในการทดลองนี้จะวัดอัตราเร็วลมก่อนผ่านเข้าแบบจำลองกับอัตราเร็วลมภายในแบบจำลองในแนวเส้นกระแสลมเดียวกันโดยใช้ท่อปิโตตสแตติก แบบจำลองจะตั้งในบริเวณตอนกลางของส่วนใช้งาน ซึ่งมีอัตราเร็วลมสม่ำเสมอ การวัดอัตราเร็วลมก่อนผ่านเข้าแบบจำลองต้องวางท่อปิโตต-สแตติกไว้หน้าแบบจำลอง

ต่อไปนี้เป็นผลการทดลอง ซึ่งขณะทำการทดลอง $t = 29.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 75.825 \text{ cm of Hg.}$, $\rho_{29.5} = 1.153 \text{ kg/m}^3$,

มุมเอียงของแมนอมิเตอร์ $\tan \theta = \frac{3}{45}$, $l_0 = 14.4 \text{ cm}$

6.4.1 จัดให้พื้นที่หน้าตัดของแบบจำลองตั้งฉากกับทิศการไหลของลม ดังรูปที่ 6.23



รูปที่ 6.23 แสดงการจัดแบบจำลองห้องตีคัมภ์ลวดให้พื้นที่หน้าตัดตั้งฉากกับทิศทางไหลของลม
เมื่อมองด้านบน

ให้ l_{out} และ l_{in} เป็นผลต่างของความยาวของลำน้ำมันก้ำดที่แมนโนมิเตอร์
แบบเอียงเมื่อใช้ท่อปิดตอด-สแตติกวัดด้านหน้าแบบจำลองและในแบบจำลองตามลำดับ

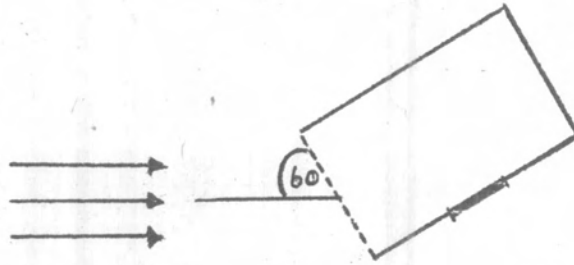
v_{out} , v_{in} และ v_{loss} เป็นอัตราเร็วลมด้านหน้าแบบจำลอง อัตราเร็วลมในแบบ
จำลองและผลต่างของอัตราเร็วลมด้านหน้าแบบจำลองกับอัตราเร็วลมในแบบจำลอง ตามลำดับ

ตารางที่ 6.13.1

	l_{out} (cm)	l_{in} (cm)	v_{out} (cm)	v_{in} (cm)	v_{loss} (cm)
ช่องด้านข้างของ แบบจำลองเปิด	1.0 5.0	0.2 0.6	2.4 5.4	1.1 1.9	54.17% 64.81%
ช่องด้านข้างของ แบบจำลองตีคัมภ์ลวด	1.0 5.0	0.1 0.5	2.4 5.4	0.8 1.7	66.67% 68.52%

6.4.2 จัดให้พื้นที่หน้าตัดของแบบจำลองท่ามุม 60 องศา กับทิศการไหลของลม

แบบที่ 1 ดังรูปที่ 6.24

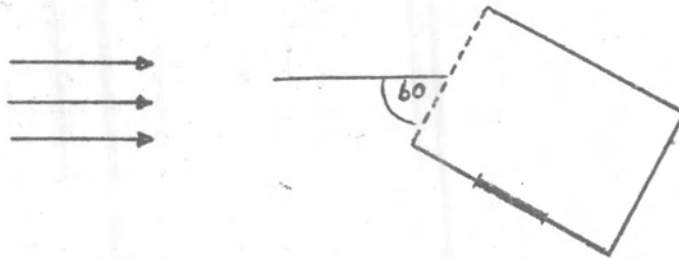


รูปที่ 6.24 แสดงการจัดแบบจำลองห้องติดมุ้งลวดให้พื้นที่หน้าตัดท่ามุม 60 องศา กับทิศการไหลของลมแบบที่ 1 เมื่อมองด้านบน

ตารางที่ 6.13.2

	l_{out} (cm)	l_{in} (cm)	v_{out} (cm)	v_{in} (cm)	v_{loss} (cm)
ช่องด้านข้างของ แบบจำลองเปิด	0.7	0.4	2.0	1.5	25.00%
ช่องด้านข้างของ แบบจำลองติดมุ้งลวด	0.7	0.2	2.0	1.1	45.00%
	4.3	0.9	5.0	2.3	54.00%
	4.3	0.6	5.0	1.9	60.20%

6.4.3 จัดให้พื้นที่หน้าตัดของแบบจำลองท่อมุม 60 องศา กับทิศทางไหลของลมแบบที่ 2 ดังรูปที่ 6.25



รูปที่ 6.25 แสดงการจัดแบบจำลองห้องติ่มมั่งลวดให้พื้นที่หน้าตัดท่อมุม 60 องศา กับทิศทางไหลของลมแบบที่ 2 เมื่อมองด้านบน

ตารางที่ 6.13.3

	l_{out} (cm)	l_{in} (cm)	v_{out} (cm)	v_{in} (cm)	v_{loss} (cm)
ช่องค้ำข้างของ แบบจำลองเปิด	0.6 4.0	0.2 0.5	1.9 4.7	1.1 1.7	42.10% 63.83%
ช่องค้ำข้างของ แบบจำลองติ่มมั่งลวด	0.6 4.0	0.1 0.4	1.9 4.7	0.8 1.5	57.89% 68.08%

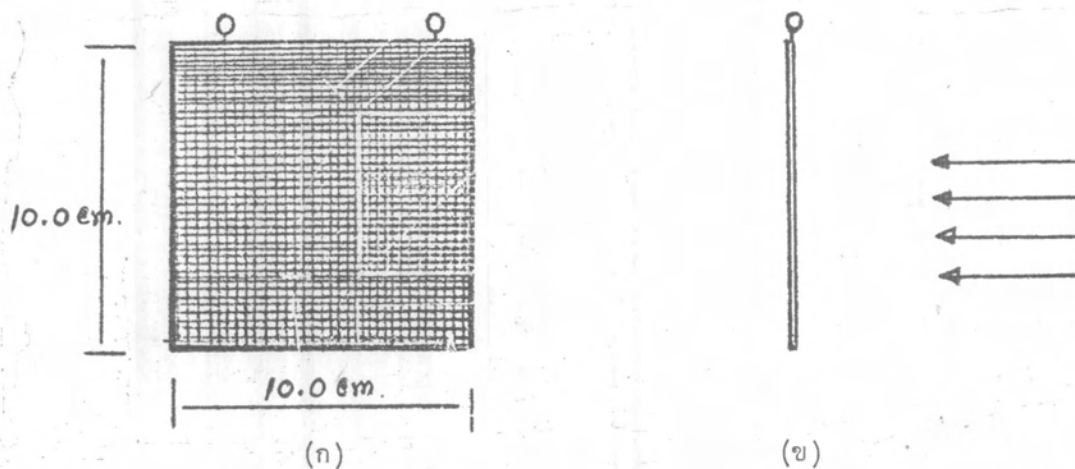
จากการทดลองนี้สรุปได้ว่า ถ้าต้องการให้มีการสูญเสียอัตราเร็วลมน้อยที่สุดจะต้อง
ทำให้

1. ทิศทางที่ลมพัด เข้ากับทิศทางที่ลมพัดออก อยู่ในแนวเดียวกัน
2. พื้นที่หน้าตัดที่ลมพัดออกมีค่ามาก

6.5 ศึกษาแรงยกเนื่องจากการปะทะ ลมของตะแกรงมุ้งลวดแบน

ตะแกรงมุ้งลวดที่ใช้ขนาด $10.0 \times 10.0 \text{ cm}^2$ ขอบด้านบนทำเป็นห่วงเพื่อจะได้หมุนได้

โดยอิสระเมื่อปะทะลม ดังรูปที่ 6.26

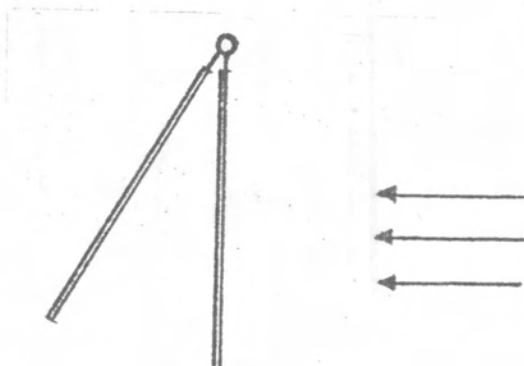


รูปที่ 6.26 (ก) แสดงขนาดของตะแกรงมุ้งลวด

(ข) แสดงการจัดให้ตะแกรงมุ้งลวดปะทะลม

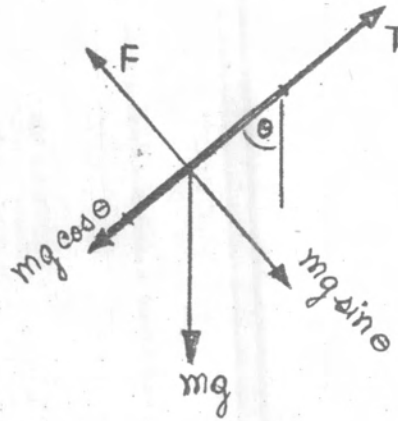
เมื่อตะแกรงมุ้งลวดปะทะลม จะทำให้ตะแกรงมุ้งลวดเบนไปจากแนวตั้ง

ดังรูปที่ 6.27



รูปที่ 6.27 แสดงการเบนไปของตะแกรงมุ้งลวดเมื่อปะทะลม

- ให้ m เป็นมวลของตะแกรงมุ้งลวดมีค่า 2.35×10^{-3} kg
 g เป็นค่าความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วงของโลกมีค่า 9.8 m/s^2
 θ เป็นมุมที่ตะแกรงมุ้งลวด เบนไปจากแนวตั้ง
 T เป็นแรงดึงตะแกรงมุ้งลวดที่หัว
 F เป็นแรงยกตะแกรงมุ้งลวด เนื่องจากลม



เนื่องจากว่าขณะตะแกรงมุ้งลวด เอียงทำมุม θ กับแนวตั้งตะแกรงก็ยังคงอยู่ในสภาวะสมดุล ดังนั้นจะได้

$$F = mg \sin \theta$$

$$T = mg \cos \theta$$

จากการใช้ลมที่ปะทะตะแกรงมุ้งลวดมีความเร็วต่าง ๆ กัน ได้ค่าแรงยก F ดังตารางที่ 6.14

ตารางที่ 6.14

$v(\text{m/s})$	θ	$F(\text{N})$
2.9	54°	1.82×10^{-3}
3.5	62°	2.08×10^{-3}
5.8	77°	2.22×10^{-3}

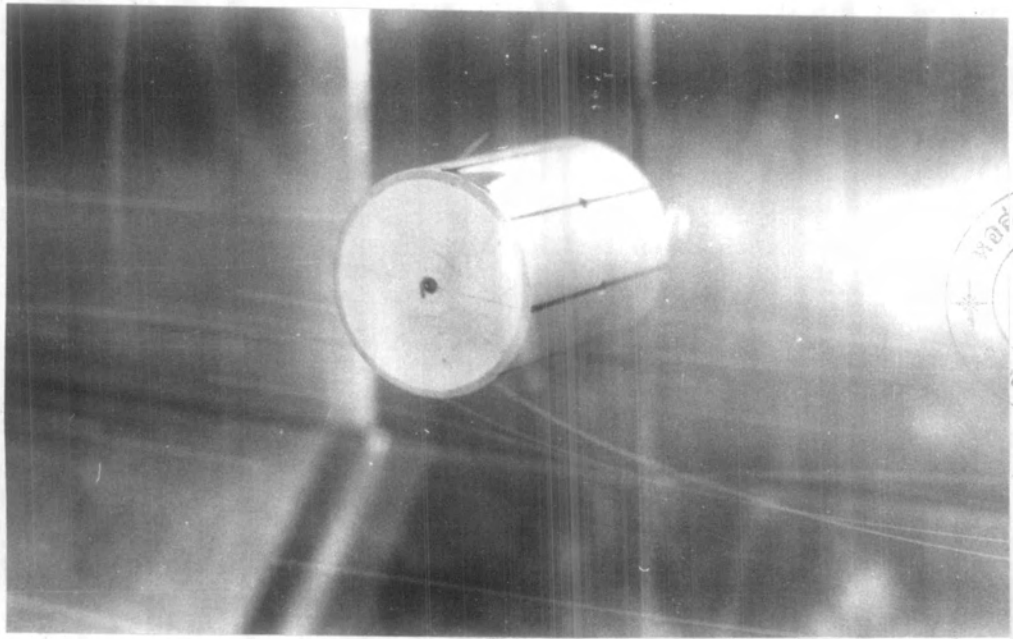
การทดลองนี้สรุปได้ว่าแรงยกขึ้นกับความเร็วลมที่ปะทะคือความเร็วลมมากแรงยกก็จะมีมาก

6.6 การสร้างภาพการไหลของกระแสลม (flow visualization)

การสร้างภาพการไหลของกระแสลมขณะผ่านวัตถุต่าง ๆ มีความจำเป็นมากสำหรับงานในด้านการออกแบบทางอากาศพลศาสตร์ ในที่นี้จะกล่าว เฉพาะวิธีง่าย ๆ เพียง 2 วิธี คือ

6.6.1 โดยการใส่ควัน

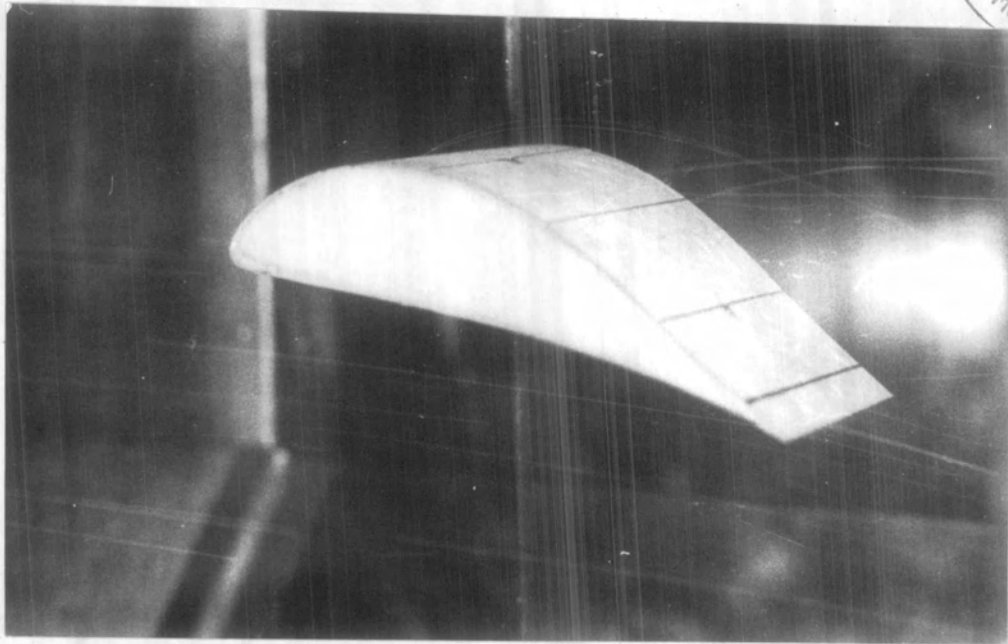
ควัน ที่ใช้เป็นพวกควันที่ได้จากการเผาไหม้ เช่นควันจากการเผาแก๊สหรือขี้เถ้า เป็นต้น โดยให้ควันเข้าทางด้านหน้าของส่วนอากาศแปรเข้า เมื่อควันผ่านตะแกรงรังผึ้งก็จะทำให้ควันแยกออกเป็นลำ ๆ เข้าไปในอุโมงค์ลม ควันแต่ละลำจะแทนลำเส้นกระแสได้ ซึ่งเราก็สามารถถ่ายภาพเส้นกระแสได้ รูปต่อไปนี้นี้เป็นภาพถ่ายแสดงเส้นกระแสขณะผ่านแบบจำลองทำโดยการใช้สะเก็ดไฟที่ได้จากการเผาแก๊สหรือขี้เถ้า



รูปที่ 6.28 ภาพถ่ายแสดงเส้นกระแสลมขณะผ่านแบบจำลองรูปทรงกระบอก



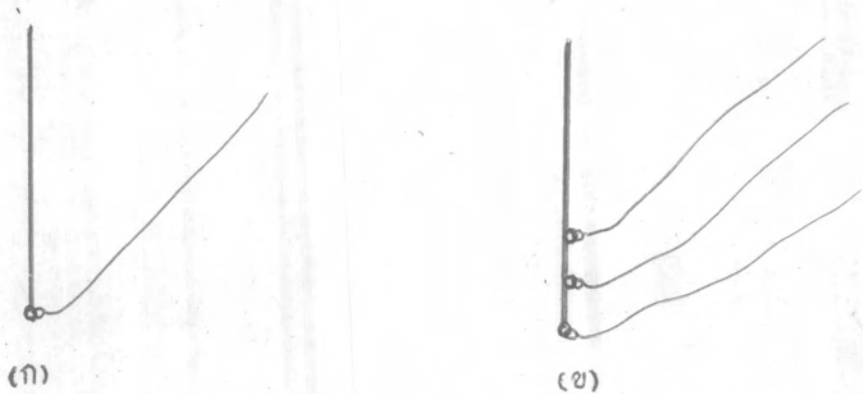
รูปที่ 6.29 ภาพถ่ายแสดง เส้นกระแสมุมผ่านแบบจำลองรูปเสี้ยวทรงกระบอก



รูปที่ 6.30 ภาพถ่ายแสดง เส้นกระแสมุมผ่านแบบจำลองรูปปีก เครื่องบิน เมื่อมุมปะทะ

30 องศา

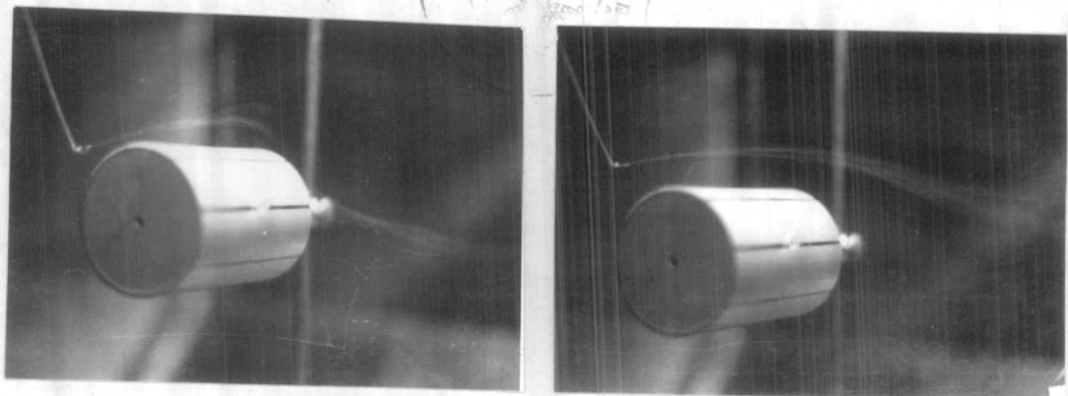
6.6.2 โดยการใช้เชือกเส้นด้ายเบา ๆ
 เชือกด้ายที่ใช้เป็นด้ายไนลอน (nylon) ขนาดเล็กผูกเป็นห่วงไว้กับ เส้นลวดทองเหลือง
 ขนาดเล็กซึ่งปักไว้เป็นห่วงสำหรับผูกด้ายไนลอน

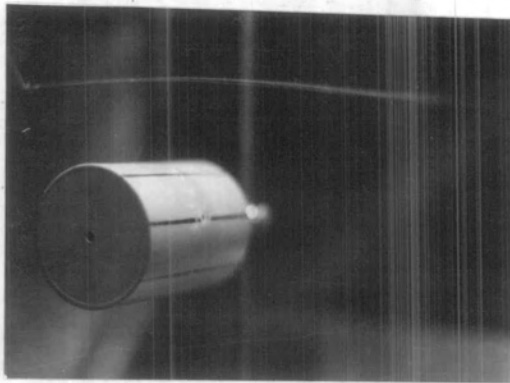


รูปที่ 6.31 แสดงลักษณะของตัวแสดงเส้นกระแส

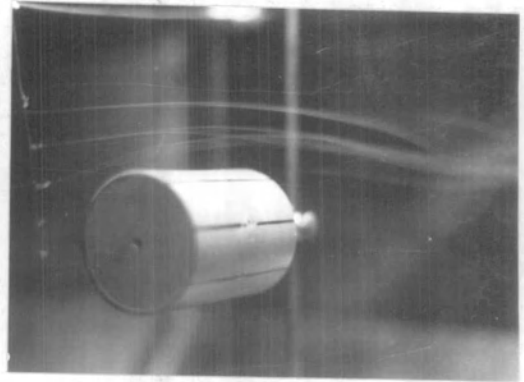
(ก) 1 เส้น (ข) 3 เส้น

เนื่องจากว่าด้ายไนลอนจะสะบัดไปตามกระแสลม จึงเรียกด้ายไนลอนนี้ว่า
 "ตัวแสดงเส้นกระแส" (streamer) คือด้ายไนลอน 1 เส้นจะแทนเส้นกระแส 11 เส้น
 ซึ่งเรา ก็สามารถถ่ายภาพเส้นกระแสได้รูปต่อไปนี้เป็นภาพถ่ายแสดงเส้นกระแสขณะผ่าน
 แบบจำลองโดยใช้ด้ายไนลอน





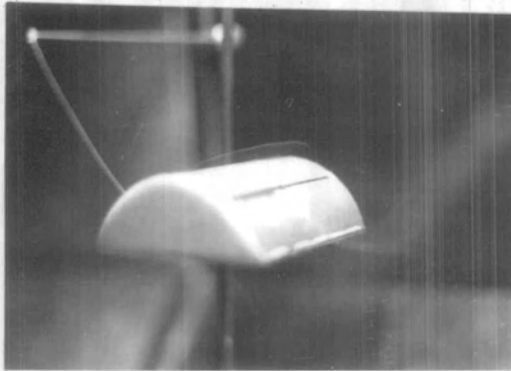
(ก)



(ง)

รูปที่ 6.32 ภาพถ่ายแสดงเส้นกระแสลมขณะผ่านแบบจำลองรูปทรงกระบอก (ก), (ข),

(ค) แสดง 1 เส้น (ง) แสดง 3 เส้น



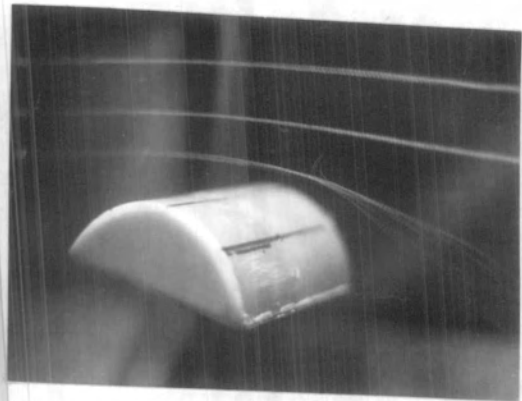
(ก)



(ข)



(ก)

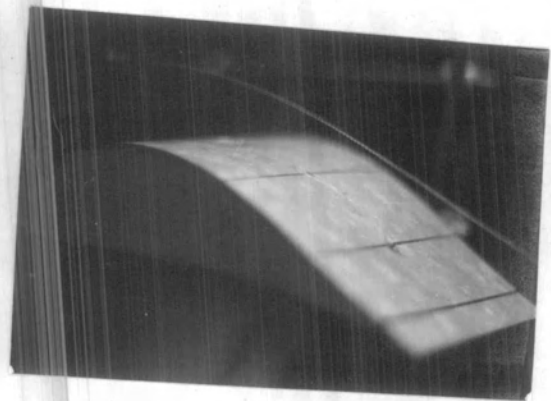


(ง)

รูปที่ 6.33 ภาพถ่ายแสดงเส้นกระแสลมขณะผ่านแบบจำลองรูปเสี้ยวทรงกระบอก (ก),
(ข), (ค) แสดง 1 เส้น (ง) แสดง 3 เส้น



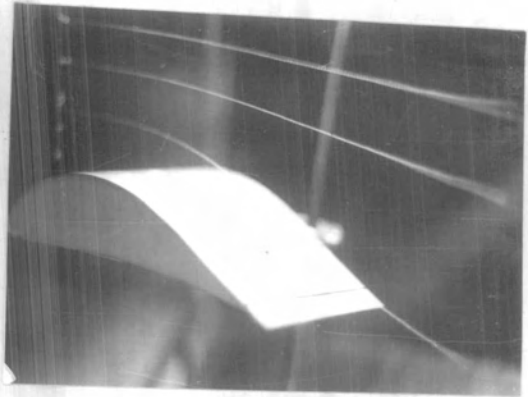
(ค)



(ข)



(ก)



(ง)

รูปที่ 6.34 ภาพถ่ายแสดงเส้นกระแสลมขณะผ่านแบบจำลองรูปปีกเครื่องบิน ทำมุมปะทะ

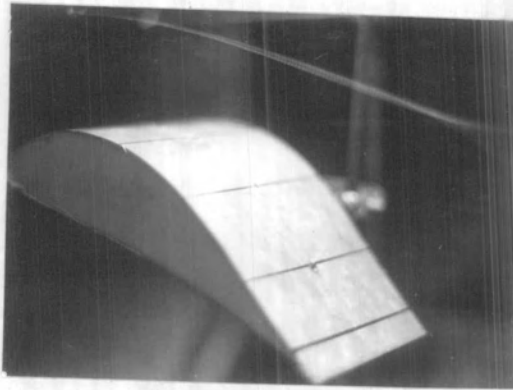
○ องศา (ก), (ข), (ค) แสดง 1 เส้น (ง) แสดง 3 เส้น



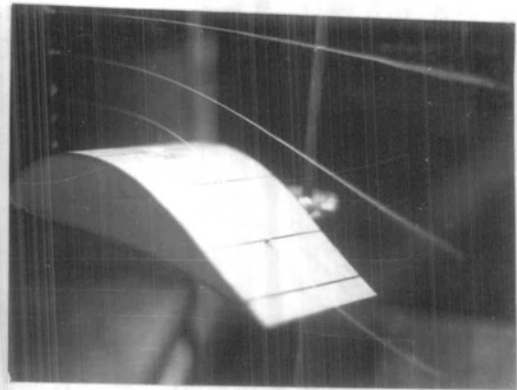
(ก)



(ข)

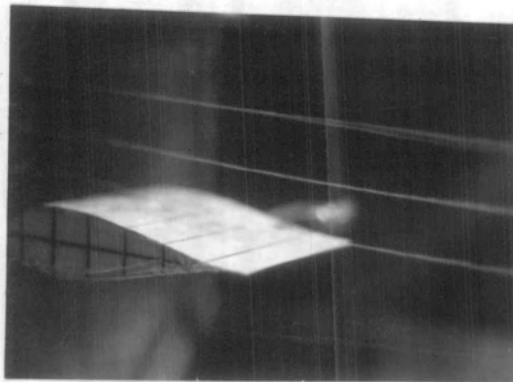


(ค)

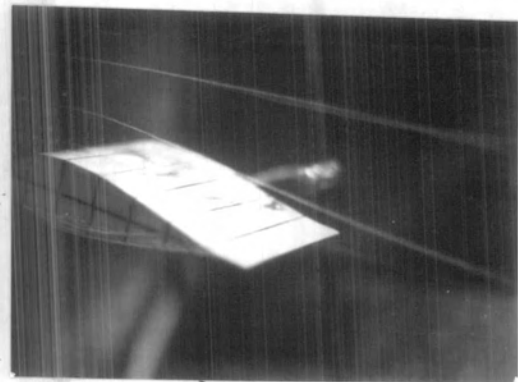


(ง)

รูปที่ 6.35 ภาพถ่ายแสดงเส้นกระแสลมขณะผ่านแบบจำลองรูปปีก เครื่องบินทำมุมปะทะ
30 องศา (ก), (ข), (ค) แสดง 1 เส้น (ง) แสดง 3 เส้น



(ก)



(ข)

รูปที่ 6.36 ภาพถ่ายแสดงเส้นกระแสลมขณะผ่านแบบจำลองรูปหยดน้ำ (ก), ทำมุมปะทะ 0
องศา (ข) ทำมุมปะทะ 30 องศา