

เอกสารอ้างอิง

1. วิบูลย์ บุญธโรกุล, ปั๊มและระบบสูบน้ำ, หน้า 1-121, ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร, 2529.
2. ฝ่ายวารสารและตำรา, ระบบท่อ วาล์ว ปั๊ม, หน้า 54-206, บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น, จำกัด จัดพิมพ์ครั้งที่ 1, 2524.
3. สุนันท์ ศรันยนิคย์, กลศาสตร์ของไหล, หน้า 1.20-7.54 ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า, ธนบุรี, พิมพ์ครั้งที่ 2, 2526.
4. กองกัญจน์ ภักตรากาญจน์, ฟิสิกส์ทั่วไป 1, หน้า 234-237, ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง, กรุงเทพมหานคร, พิมพ์ครั้งที่ 5, 2523.
5. ชัยวิทย์ ศิลาวชิรนาถ, ฟิสิกส์และเทคโนโลยีของระบบสูบน้ำอากาศ, หน้า 9-12, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, กรุงเทพมหานคร, 2526.
6. ฌิต ธีรวิชัย, "สมรรถนะของโรเตอร์กังหันลมที่ใช้ในประเทศไทย;" วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า, ธนบุรี, 2529.
7. กว๊าน สีตะธนี, "การวิเคราะห์พลังงานลมในประเทศไทย," วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า, ธนบุรี, 2527.
8. ทริส สุตะบุตร, ชาร์โอ ทหารา, เครื่องสูบลมและเครื่องอัด, หน้า 46-51 โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, กรุงเทพมหานคร, 2526.
9. จิระพล ฉายะรัฐิต, "ปั๊มทอยโซ่ง," เทคนิค, 2(14), 104-116, 2528.

10. Braddick, H.J.J., The Physics of Experimental Method,
p.p. 150-151, Chapman and Hall Ltd. London, 1954.
11. Dushman, Saul, Scientific Foundation of Vacuum Technique,
p.p. 142-147, John Wiley and Sons Inc. New York,
1949.
12. Pipko, A., Fundamentals of Vacuum Techniques, p.p. 74-89,
MIR Publishers, Moscow, 1984.
13. Gourierés Le Désiré, Wind Power Plants Theory and Design,
p.p. 151-160, Pergamon Press, 1982.
14. Kays, W.M., Crawford M.E., Convective Heat and Mass
Transfer, p.p. 58-62, McGraw-Hill Publishing Co. Ltd.
New Delhi, 1983.
15. Drake Robert M., Eckert E.R.G., Analysis of Heat and Mass
Transfer, p.p. 352-370, McGraw-Hill Kogakusha Ltd.,
1972.
16. ไพฑูรย์ พีรานนท์, พลังงาน, หน้า 9-1-9-3, ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, 2526.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ท่อพีวีซี

ท่อพีวีซี (Polyvinyl Chloride, PVC) ได้รับการพัฒนาขึ้นพร้อมกับเทคโนโลยีสมัยใหม่ของโลกปัจจุบัน ประโยชน์ของท่อพีวีซีนั้นมีมากมาย ทั้งนี้เนื่องจากสารโพลีไวนิลคลอไรด์ซึ่งเป็นสารเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) สำหรับงานก่อสร้างจะไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมีทั่ว ๆ ไป รวมทั้งกรด ด่าง เชื้อเพลิงและไม่เป็นสนิม นอกจากนี้พีวีซียังมีน้ำหนักเบา มีอัตราส่วนของความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูง มีความทนทานสูงมาก คั้นตัวได้เร็วและมีคุณสมบัติอื่น ๆ ที่เป็นเอกลักษณ์ของสารเทอร์โมพลาสติก

สารพีวีซีได้ถูกค้นพบเป็นครั้งแรกในสมัยก่อน จุดเริ่มต้นเกิดจากการที่กลุ่มนักวิทยาศาสตร์ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาของสารอินทรีย์แก๊สชนิดใหม่ (Vinyl-Chloride C_2H_2Cl) ที่ได้ประดิษฐ์ขึ้นและพบปรากฏการณ์ประหลาดเมื่อสารนี้ต้องแสงแดดคือเกิดการรวมตัวของของแข็งสีขาวที่ก้นหลอดทดลอง ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้มีชื่อทางเคมีเป็นโพลีเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) ซึ่งทำให้ได้สารพลาสติกชนิดใหม่ นักวิทยาศาสตร์ได้พบว่าสารใหม่นี้ไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมีทั่ว ๆ ไป และที่สำคัญคือไม่สามารถทำลายได้ แต่เนื่องจากพีวีซีมีคุณสมบัติต่อต้านการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ด้วยเหตุนี้การพัฒนาสารพีวีซีจึงหมดไป

กระทั่งปี ค.ศ. 1920 จึงได้มีการค้นคว้าเกี่ยวกับสารพีวีซีอีกในยุโรปและอเมริกาเหนือ ในช่วงนี้ได้มีการนำเอาพีวีซีมาใช้ประโยชน์อย่างจริงจัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศเยอรมัน โดยในปี ค.ศ. 1920 นักวิทยาศาสตร์และวิศวกรชาวเยอรมันได้ทำการพัฒนาและผลิตท่อพีวีซีจำนวนจำกัดมาใช้งาน ท่อเหล่านี้ยังคงปรากฏและใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในปัจจุบันนี้ท่อพีวีซี มีบทบาทสำคัญในตลาดโลกมาก สำหรับในประเทศไทยนั้นท่อพีวีซีเริ่มเป็นที่รู้จักและใช้กันเมื่อประมาณ 20 ปีที่ผ่านมาและปัจจุบันเป็นที่รู้จักและใช้กัน

อย่างแพร่หลาย จนสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้กำหนดมาตรฐานท่อพีวีซีขึ้น โดยจะแบ่งแยกสีตามการใช้งาน

จากการวิเคราะห์ผลกระทบจากสภาพแวดล้อมนี้ จะสามารถแบ่งแยกเป็นหัวข้อได้ดังต่อไปนี้

ก.1 ความต้านทานการผุกร่อน

ท่อพีวีซีที่ฝังไว้ใต้ดินจะไม่ผุไม่ว่าจะด้วยปฏิกิริยาเคมีหรือปฏิกิริยาไฟฟ้าก็ตาม เนื่องจากสารพีวีซีไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า ฉะนั้นการเกิดประจุไฟฟ้าหรือปฏิกิริยาเคมีเกี่ยวกับไฟฟ้าจึงเป็นไปได้ ความเสียหายที่จะเกิดแก่ท่ออันเนื่องมาจากดินธรรมชาติ หรือชนิดที่จะทำให้เกิดการผุกร่อนจึงไม่มี ด้วยเหตุนี้ท่อพีวีซีไม่จำเป็นต้องได้รับการเคลือบ ชู หรือห่อหุ้มด้วยสารใด ๆ

การประเมินค่าคุณสมบัติไม่ผุกร่อนของท่อพีวีซีอย่างถูกต้องจะกระทำได้ด้วย การศึกษารากฐานและที่มาของการผุกร่อน ข้อพึงสังเกตคือการผุกร่อนที่เกิดขึ้นนั้นเป็นผลมาจากสภาพภายในและภายนอกท่อ การผุกร่อนที่เกิดจากสภาพทางเคมีไฟฟ้าภายนอกท่อสามารถแยกออกได้เป็น

ก) การผุกร่อนซึ่งเกิดจากกระแสอันเนื่องมาจากการแยกตัวด้วยไฟฟ้า (Stray Electrolysis)

ข) การผุกร่อนซึ่งเกิดจากไฟฟ้าภายในตัวเอง (Galvanic corrosion) อันเนื่องมาจากโลหะต่างชนิดกันในเนื้อท่อ

ค) การผุกร่อนซึ่งเกิดจากไฟฟ้าภายในตัวเองอันเนื่องจากผลต่างทางศักย์ไฟฟ้า (Differential Electrolysis)

ก.2 ผลกระทบจากอุณหภูมิ

เนื่องจากการทำงานของท่อพีวีซีสัมพันธ์กับอุณหภูมิขณะใช้งานอย่างใกล้ชิด เป็นที่ยอมรับกันว่าท่อพีวีซีสามารถติดตั้งได้ในช่วงอุณหภูมิ -17.8°C - 65°C เมื่ออุณหภูมิ

ลดลง ความแข็งแรงและความต้านแรงดึงของท่อจะเพิ่มขึ้น ยังผลทำให้ความจุ ความดัน และความสามารถในการรับแรงอัดของดินเพิ่มขึ้นด้วย ความต้านแรงกระแทกและการอ่อนตัวของท่อจะเพิ่มขึ้น แต่ความต้านแรงดึง ความแข็งแรง และความจุความดันของท่อลดลง

ก.3 ความต้านทานต่อชีวภัย

ความเสียหายทางชีวภัยนั้นอาจเกิดจากฟังไจ (Fungi) แบคทีเรียหรือจากสิ่งมีชีวิตที่เรามองเห็นได้ ซึ่งมีอยู่มากมายนับตั้งแต่รากไม้ ปลวกจนถึงหนู แต่จากการศึกษาและวิจัยท่อพีวีซีซึ่งถูกฝังอยู่ในบริเวณที่มีชีวภัยนั้นจะไม่มีชีวภัยอันเนื่องมาจากแบคทีเรียหรือจุลินทรีย์อื่น ๆ ทั้งนี้เนื่องมาจากสารเทอร์โมพลาสติกในพีวีซีจะไม่เป็นอาหารสำหรับสิ่งมีชีวิต

ก.4 ความต้านทานต่อดินฟ้าอากาศ

ผิวท่อพีวีซีจะเสื่อมสภาพบริเวณที่ได้รับแสงอุลตราไวโอเลตที่มากับแสงแดดเป็นเวลานาน ๆ ฉะนั้นท่อพีวีซีจึงไม่ควรใช้กับงานที่ได้รับแสงแดดตลอดเวลา ผลจากแสงชนิดนี้จะเป็นกระบวนการธรรมชาติระยะยาวที่จะทำให้วัตถุที่มีส่วนผสมของอินทรีย์สารอยู่กลับเข้าสู่วัฏจักรธรรมชาติ เช่น ซากไม้ ซากสัตว์ ไม้ พลาสติก ดังนั้นท่อพีวีซีควรได้รับการป้องกันจากปรากฏการณ์ของแสงนี้โดยการปกปิดผิวท่อด้วยสีฟ้าหรือหุ้มด้วยสารชนิดอื่น

ก.5 ความต้านทานการเกาะตัวของสารละลายที่ผิวท่อในของท่อ

สารละลายบางอย่างเช่นแคลเซียมคาร์บอเนต จะไม่จับตัวกับผิวที่เรียบและลื่นของท่อพีวีซี แต่จะปกคลุมผนังของท่อชนิดอื่น และเนื่องจากท่อพีวีซีไม่ทำปฏิกิริยาการผุกร่อน ฉะนั้นสิ่งที่เกิดจากปฏิกิริยานี้ก็จะไม่เกาะที่ผิวท่อ

ภาคผนวก ข.

พลังงานลม

ลมหมายถึงมวลของอากาศซึ่งเคลื่อนที่ไปบนผิวโลกตามแนวนอนในทุกทิศทาง และด้วยความเร็วต่าง ๆ กัน พลังงานลมมีต้นกำเนิดจากพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากผิวโลกแต่ละส่วนได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ไม่เท่ากัน ทำให้อากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าไหลแทนที่อากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่า ซึ่งลอยตัวสูงขึ้น

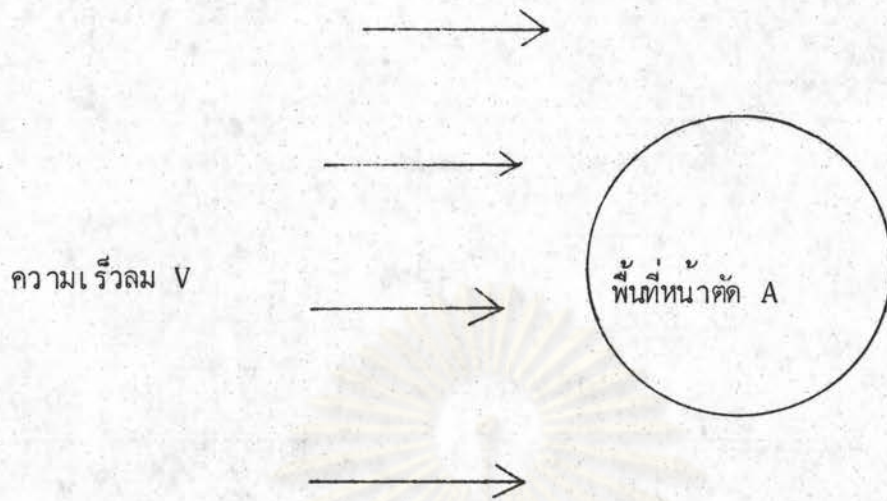
พลังงานลมเป็นพลังงานจลน์ที่มวลของอากาศเกิดการเคลื่อนที่ ดังนั้นถ้าพิจารณาสมการของพลังงานจลน์ โดยให้มวล m กิโลกรัม เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว V เมตร/วินาที จะเป็นค่าของพลังงานจลน์ E เป็นไปตามสมการ

$$E = \frac{1}{2} mV^2 \quad (\text{ข.1})$$

เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอากาศมีหน่วยเป็นมวลต่อเวลา ดังนั้นเมื่อแทนค่า m ลงในสมการจะเป็นผลให้ E เปลี่ยนเป็นกำลังลม P ดังสมการ

$$P = \dot{E} = \left(\frac{1}{2} \dot{m}V^2\right) = \frac{1}{2} \dot{m}V^2 \quad (\text{ข.2})$$

ถ้าลมพัดผ่านพื้นที่หน้าตัด A ตารางเมตร ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ ๗.๑ เมื่อความเร็วลม V พัดผ่านพื้นที่หน้าตัด A

อัตราการไหลของอากาศเชิงมวลต่อเวลา \dot{m} เขียนสมการได้เป็น

$$\dot{m} = \rho AV \quad (\text{ข.3})$$

เมื่อ ρ เป็นความหนาแน่นของอากาศ

นำสมการ (3) แทนในสมการ (2.) จะได้

$$P = \frac{1}{2} \rho AV^3 \quad (\text{ข.4})$$

หรือเขียนในรูปของสมการกำลังสองต่อพื้นที่หน้าตัดจะได้

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho V^3 \quad (\text{ข.5})$$

ในการใช้กังหันลมเพื่อรับพลังงานจากลมที่หมุนไม่สามารถจะรับพลังงานออกมาได้ทั้งหมด แต่จะรับพลังงานออกมาเพียงบางส่วนของพลังงานลมเท่านั้น จากการวิเคราะห์เชิงทฤษฎีจะพบว่า กำลังงานที่สามารถนำออกมาได้จากกำลังลมจะมีค่าได้สูงสุดที่จำกัด ดังนั้น ถ้ากำหนดให้

- V = ความเร็วลมที่พัดเข้ามาทางจากตัวหมุน
 V_1 = ความเร็วลมที่มีการดึงผ่านตัวหมุน
 V_2 = ความเร็วลมที่พัดออกไปทางจากตัวหมุน
 Q = อัตราการเคลื่อนที่ของอากาศที่ผ่านเข้ามา

ดังนั้น

$$\text{อัตราการเปลี่ยนโมเมนตัมของอากาศ} = Q(V - V_2) \quad (\text{ข.6})$$

$$\text{ซึ่งจะทำให้เกิดแรงกระทำต่อตัวหมุน} = Q(V - V_2)$$

$$\text{ฉะนั้นกำลังงานที่ตัวหมุนจะได้รับจากลมมีความเร็ว } V_1 \text{ จะเป็น } Q(V - V_2)V_1 \quad (\text{ข.7})$$

$$\text{ลมจะมีการเปลี่ยนพลังงานจลน์ในอัตรา} = \frac{1}{2}QV^2 - \frac{1}{2}QV_2^2 \quad (\text{ข.8})$$

จากหลักการคงตัวของพลังงานจะได้ว่า

$$Q(V - V_2)V_1 = \frac{1}{2}QV^2 - \frac{1}{2}QV_2^2$$

$$V_1 = \frac{V + V_2}{2} \quad (\text{ข.9})$$

เนื่องจากกำลังงานลมที่ตัวหมุนรับมาจากลมในสมการ (7) จะเขียนได้เป็น

$$\begin{aligned}
 P &= \rho A V_1 (V - V_2) V_1 \\
 &= \frac{1}{4} \rho A (V - V_2) (V + V_2)^2
 \end{aligned} \quad (\text{ข.10})$$

กำลังงานที่จะรับมาจากลมจะขึ้นอยู่กับความเร็วของลมที่จะพัดออกไปเป็น V_2 เมื่อพิจารณาในกรณีที่กำลังงานนี้จะมีค่าสูงสุด นั่นคือ

$$\frac{\partial P}{\partial V_2} = 0 \quad (\text{ข.11})$$

จากสมการที่ (10) และ (11) เขียนใหม่ได้เป็น

$$3V_2^2 + 2VV_2 - V^2 = 0$$

$$V_2 = \frac{1}{3}V \quad (\text{ข.12})$$

$$\text{ดังนั้น } P_{\max} = \frac{16}{27} \left(\frac{1}{2} \rho AV^3 \right) \quad (\text{ข.13})$$

หมายความว่ากำลังงานที่จะสามารถนำออกมาได้มากที่สุดเชิงทฤษฎีจะเป็น $\frac{16}{27}$ หรือ 59 % แต่ในทางปฏิบัติแล้วกังหันลมโดยทั่วไปจะสามารถรับกำลังงานออกมาได้ต่ำกว่าค่านี้นี้ ดังนั้น จากสมการที่ (13) เขียนใหม่ได้เป็น

$$P = c_p \left(\frac{1}{2} \rho AV^3 \right) \quad (\text{ข.14})$$

$$c_p = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho AV^3}$$

$$\text{หรือ } c_p = \frac{\text{กำลังงานที่ได้ของกังหันลม}}{\text{กำลังงานลม}} \quad (\text{ข.15})$$

โดยที่ c_p นี้จะเป็นสัมประสิทธิ์ของกำลังงาน (power coefficient)

การจำแนกชนิดของกังหันลม

กังหันลมพอจะจำแนกตามลักษณะเพลารหมุนของกังหันลมได้เป็น 2 ประเภทด้วยกันคือ

1) กังหันลมชนิดแบบแกนนอน (Horizontal axis machine)

กังหันลมชนิดนี้จะมีแกนหมุนขนานกับทิศทางที่กระแสลมผ่าน มีจำนวนใบพัดไม่แน่นอนจะมีตั้งแต่ 1 - 50 ใบ แบบนี้ต้องมีเครื่องคุมกังหันลมเพื่อให้ใบพัดรับลมได้ทุกทิศทาง (รับลมได้เพียงด้านเดียว) เช่น กังหันลมแบบหลายใบ (Multivane fan) หรือแบบอเมริกันเหมาะสำหรับความเร็วรอบต่ำมีค่าสัมประสิทธิ์ของกำลังงานประมาณ 0.25 กังหันลมแบบใบพัด (propeller) จะมีความเร็วรอบสูงมากโดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของกำลังงาน 0.47

2) กังหันลมแบบแกนตั้ง (Vertical axis machine)

เป็นกังหันลมที่แกนของใบพัดตั้งฉากกับพื้นราบ ใบพัดสามารถรับลมได้ทุกทิศทาง เช่น แบบซาโวเนียส (Savonius rotor) แบบดาร์เรียส (Darrius rotor) ซึ่งแบบนี้จะให้ค่าสัมประสิทธิ์ของกำลังงานเป็น 0.35

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กังหันลมในประเทศไทย

จากอดีตจนถึงปัจจุบัน ประเทศไทยได้มีการนำเอากังหันลมมาใช้ภูมิภาคต่าง ๆ ทั่วประเทศ กังหันลมที่นำมาใช้ทั้งหมดเพื่อสูบน้ำ ส่วนกังหันลมสำหรับผลิตไฟฟ้านั้นเป็นกังหันลมชนิดที่ได้รับความสนใจจากหน่วยงานของรัฐ และสถาบันการศึกษา ซึ่งอยู่ในระยะค้นคว้าและทดลองในอันที่จะนำมาแก้ปัญหาในท้องถิ่นที่ยังไม่มีกระแสไฟฟ้าใช้

กังหันลมในประเทศไทยได้จัดแบ่งตามเอกสารอ้างอิงของ คณิต ธิรวิชัย (6) ซึ่งได้จัดกังหันลมเป็น 3 กลุ่มได้แก่

1) กังหันลมรอบช้า

กังหันลมรอบช้าซึ่งเป็นกลุ่มกังหันลมที่มีอัตราส่วนระหว่างความเร็วที่ปลายใบ ณ จุดใช้งาน (เป็นอัตราส่วนระหว่างความเร็วที่ปลายใบและความเร็วของลม) มีค่าไม่เกิน 2 ที่พบในประเทศไทยตามแถบชายทะเลฝั่งตะวันออก แถบจังหวัดสมุทรสงคราม สมุทรสาครและชลบุรี ได้แก่ กังหันลมนาเกลือภาคกลาง หรือกังหันเสื้อลำแพนเป็นกังหันลมชนิด 6 ใบ ซึ่งกังหันลมประเภทนี้ในระยะหลังได้มีการดัดแปลงใบกังหัน โดยพบว่ามีการใช้ใบผ้าและใบถักยัดแทนใบเสื้อลำแพน ในบางครั้งอาจจะพบว่าใช้จำนวนใบมากกว่า 6 ใบ และรูปร่างใบแตกต่างไปจากของเดิมซึ่งเป็นสามเหลี่ยมมุมฉาก แต่ยังใช้จุดระหวัดวิดน้ำอย่างเดิม กังหันลมอีกแบบหนึ่งซึ่งพบโดยทั่วไปคือกังหันลมหลายใบ หรือแบบอเมริกัน มีจำนวนใบ 20 - 30 ใบ ซึ่งใช้ร่วมกับเครื่องสูบน้ำ

2) กังหันลมรอบปานกลาง

กังหันลมรอบปานกลางซึ่งเป็นกลุ่มกังหันลมที่มีอัตราส่วนความเร็วที่ปลายใบ ณ จุดใช้งานตั้งแต่ 2 แต่ไม่เกิน 4 พบตามแถบชายฝั่งทะเลภาคใต้ โดยเฉพาะที่จังหวัดปัตตานี ได้แก่กังหันลมนาเกลือปัตตานี มีจำนวนใบ 2 และ 4 ลักษณะโดยทั่ว ๆ ไปของรูปร่างใบกังหันขึ้นเป็นโคจร ซึ่งทำด้วยไม้เนื้อแข็งยึดติดกับแกนใบหุ้มด้วยสังกะสีลอนใหญ่ ตั้งหมุนรับลมเพื่อจุดระหวัดวิดน้ำ

3) กัณฑ์ลมรอบเร็ว

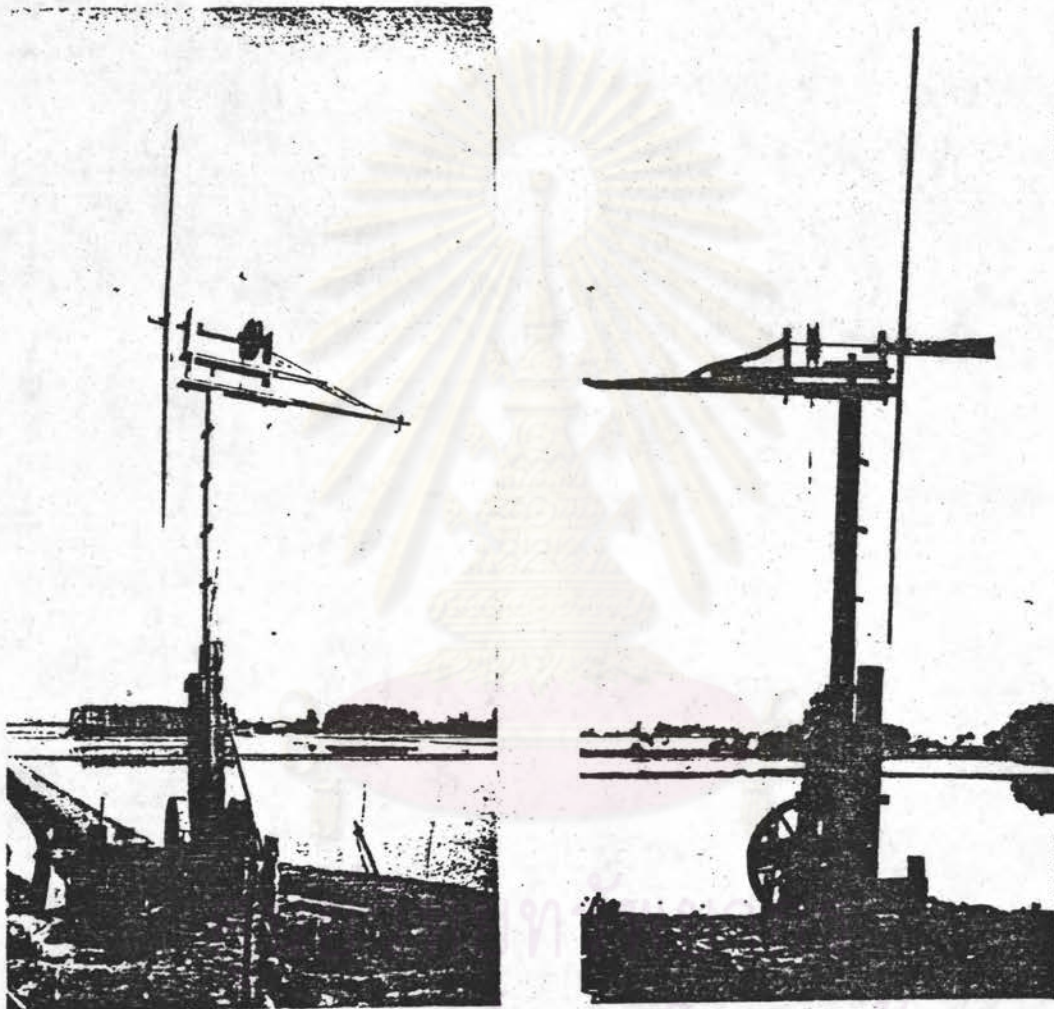
กัณฑ์ลมรอบเร็วซึ่งเป็นกลุ่มกัณฑ์ลมที่มีอัตราส่วนความเร็วที่ปลายใบ
ณ จุดใช้งานระหว่าง 5 ถึง 10 ในประเทศไทยพบกัณฑ์ลมรอบเร็วได้ตามแถบ
จังหวัดฉะเชิงเทรา สมุทรปราการ มีนบุรี หนองจอก ได้แก่งัณฑ์ลมนาข้าว
มีจำนวนใบ 2 และ 4 ใบ ทำจากไม้เนื้อแข็งขนาดยาว 6 ถึง 8 ทน 4
ถึง 5 เซนติเมตร กว้าง 20 เซนติเมตร โดยเหลาให้มีมุมใบรับลมตั้งแต่
โคนใบจากศูนย์กลางจนถึงปลายใบ 4 ถึง 8 องศา ใช้ร่วมกับระทัดวิดน้ำ

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ๒.๑ กังหันลมนานาเกลือภาคกลาง

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



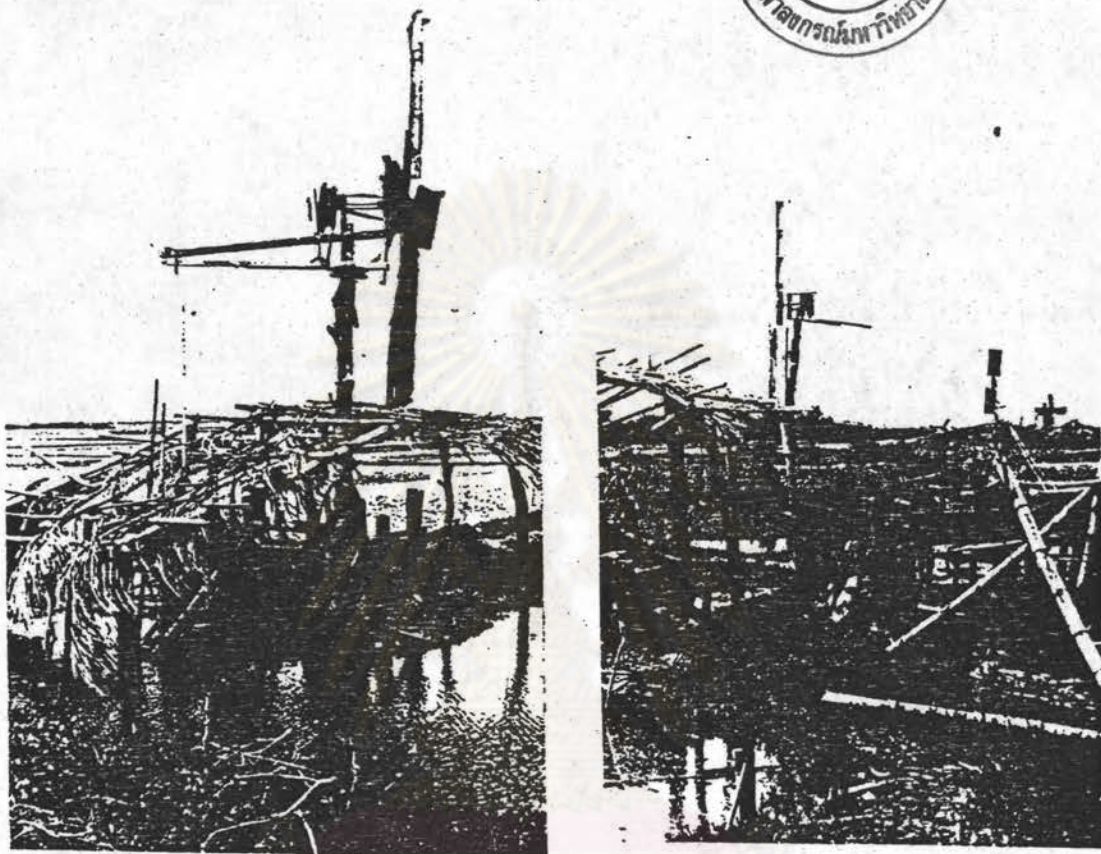
รูปที่ ข.2 กังหันลมน้ำขาว 4 ใบ (ขวา) กังหันลมน้ำขาว 2 ใบ (ซ้าย)



รูปที่ ข.3 กังหันลมหลายใบหรือแบบอเมริกัน



รูปที่ ข.4 กังหันลมล้อจักรยาน



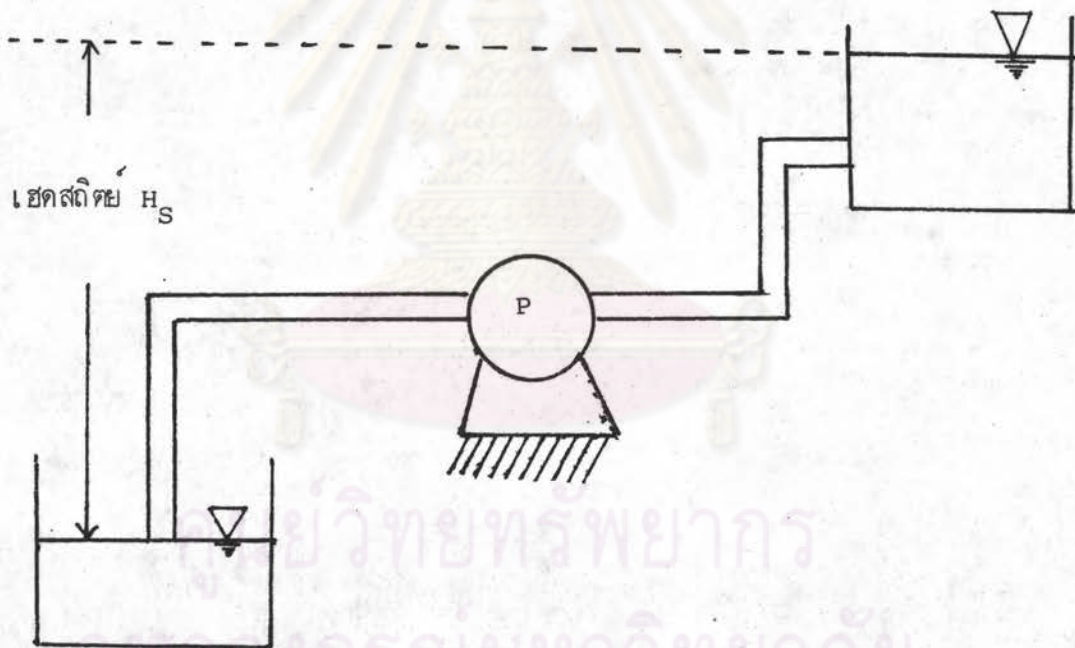
รูปที่ ข.5 กังหันลมนานาเกลือปัดตานี 4 ใบ (ซ้าย) 2 ใบ (ขวา)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

การหากราฟเฮดของระบบเครื่องสูบน้ำ

ในการทดลองนี้ได้ใช้ท่ออย่างที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร เท่ากันตลอด มีอุปกรณ์ทางด้านดูดประกอบด้วย ฟุตวาล์ว และอุปกรณ์ทางด้านน้ำออกประกอบด้วย เช็ควาล์ว ดังนั้นสามารถคำนวณหากราฟเฮดของระบบได้ดังนี้



รูปที่ ค.1 ระบบของเครื่องสูบน้ำที่มีทั้งเฮดสถิตยและเฮดความฝืด

เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อยาง (D) = 1.5 เซนติเมตร

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่หน้าตัดของท่อยาง} &= \frac{\pi D^2}{4} = \frac{22 \times (1.5 \times 10^{-2})^2}{7 \times 4} \\ &= 1.767 \times 10^{-4} \text{ ตารางเมตร} \end{aligned}$$

จากสมการที่ 2.8 และตารางที่ 2.2 (ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส)

$$\begin{aligned}
 N_R &= \frac{\rho VD}{\mu} = \frac{VD}{\nu} \\
 &= \frac{QD}{AV} \\
 &= \frac{1.5 \times 10^{-2} Q \text{ (เมตร)}^3 \text{ (เมตร) นาที}}{1.767 \times 10^{-4} \times 0.803 \times 10^{-6} \times 60 \text{ นาที} \text{ (เมตร)}^2 \text{ (เมตร)}^2} \\
 N_R &= 1.762 \times 10^6 Q \quad (\text{ค.1})
 \end{aligned}$$

การเสียดที่ระบบท่อยางและสมการที่ 2.74 โดย $K = 1$ ดังนั้น

ก) ที่ฟุตวาล์ว $h_{L_1} = \frac{v^2}{2g}$ เมตร (ค.2)

ข) ที่ช่องอทางน้ำเข้า

$$h_{L_2} = \frac{v^2}{2g} \text{ เมตร} \quad (\text{ค.3})$$

ค) ที่เข็ควาล์ว

$$h_{L_3} = \frac{v^2}{2g} \text{ เมตร} \quad (\text{ค.4})$$

ง) ท่อยางมีความยาวทั้งหมด 10 เมตร และสมการ 2.73 ดังนั้น

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

$$h_f = \frac{10}{1.5 \times 10^{-2}} \cdot f \frac{v^2}{2g}$$

$$h_f = 666.67 f \frac{v^2}{2g} \text{ เมตร} \quad (\text{ค.5})$$

$$\text{TDH} = H_s + h_{L_1} + h_{L_2} + h_{L_3} + h_f$$

$$\text{TDH} = H_s + (3 + 666.67 f) \frac{v^2}{2g} \text{ เมตร (ค.6)}$$

$$Q = AV \text{ ลูกบาศก์เมตร/นาที}$$

$$\text{TDH} = H_s + 288.72(3 + 666.67 f)Q^2 \text{ เมตร (ค.7)}$$

สามารถคำนวณค่าเลขเรโนลด์ (N_R) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของความฝืด โดยใช้สมการที่ 2.52 และสมการที่ 2.59 โดยการสมมติค่าปริมาณน้ำที่ได้จาก 0 ถึง 21×10^{-3} ลูกบาศก์เมตร/นาที ดังแสดงไว้ในตารางที่ ค.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.1 แสดงถึงปริมาณของปริมาณน้ำที่ได้อิเล็กโทรไลต์ ค่าสัมประสิทธิ์ของความผิด

$Q \times 10^{-6}$ (ลูกบาศก์เมตร) นาที	N_R	f
0	0	-
1000	1762	0.0363
2000	3524	0.0415
3000	5286	0.0368
4000	6880	0.0340
5000	8600	0.0325
6000	10320	0.0305
7000	12334	0.0288
8000	14096	0.0278
9000	15858	0.0274
10000	17620	0.0268
11000	19382	0.0264
12000	21144	0.0259
13000	22906	0.0250
14000	24668	0.0246
15000	25800	0.0243
16000	28192	0.0238
17000	29554	0.0235
18000	31716	0.0232
19000	33478	0.0229
20000	34400	0.0227
21000	37002	0.0224

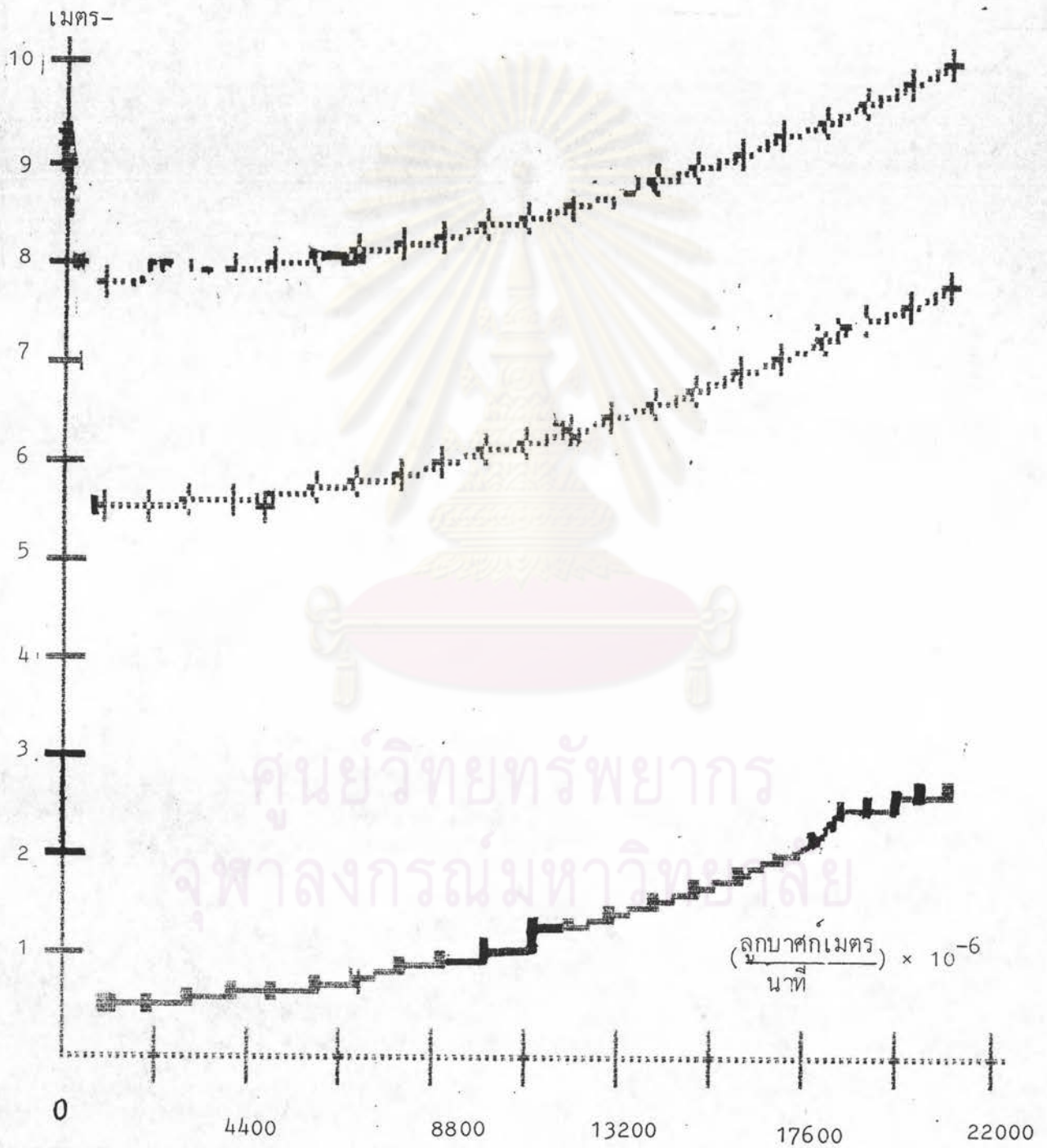
จากนั้นคำนวณหาค่าปริมาณน้ำที่ได้ออกในสมการที่ ค.7 โดยอาศัยตารางที่ ค.1
โดยจะแสดงไว้ในตารางที่ ค.2

ตารางที่ ค.2 แสดงถึงปริมาณน้ำที่ได้ออก เขตสถิติ และเขตรวมของระบบ
ที่ระยะความสูงต่างกัน

H_s (เมตร) $Q \times 10^{-6}$ (ลูกบาศก์เมตร/นาที)	0.5	5.5	8
1000	0.51	5.52	8.02
2000	0.54	5.54	8.04
3000	0.57	5.57	8.07
4000	0.62	5.62	8.12
5000	0.68	5.68	8.18
6000	0.74	5.74	8.24
7000	0.81	5.81	8.31
8000	0.89	5.89	8.39
9000	0.99	5.99	8.49
10000	1.10	6.10	8.60
11000	1.21	6.21	8.71
12000	1.34	6.34	8.84
13000	1.45	6.45	8.95
14000	1.59	6.59	9.09
15000	1.74	6.74	9.24
16000	1.89	6.89	9.39
17000	2.05	7.05	9.55
18000	2.22	7.22	9.72
19000	2.42	7.42	9.92
20000	2.59	7.78	10.09
21000	2.78	7.78	10.28

จากข้อมูลในตารางที่ ค.2 เขียนกราฟระหว่างความสูงและปริมาณน้ำที่ได้
ตั้งในรูปที่ ค.2

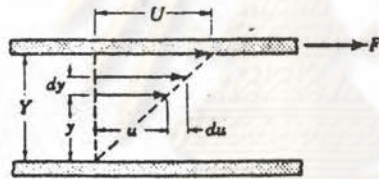
รูปที่ ค.2 แสดงกราฟเขตของระบบเครื่องสูบน้ำระหว่างความสูงและปริมาณน้ำที่ได้



ภาคผนวก ง

ความเค้นเฉือน (Shearing Stress)

พิจารณาแผ่นแบนสองแผ่น ดังในรูปที่ ง.1 แผ่นบนทั้งสองนี้มีขนาดใหญ่มากจนสามารถตัดผลกระทบจากสภาวะของขอบแผ่นทิ้งได้ แผ่นบนทั้งสองนี้อยู่ห่างกันเป็นระยะ Y ในระหว่างแผ่นแบนนี้บรรจุด้วยของไหล ให้แผ่นล่างอยู่กับที่ ส่วนแผ่นบนเคลื่อนที่ในแนวขนานกับแผ่นล่างด้วยความเร็ว U โดยแรง F ที่กระทำกับพื้นที่ A ลักษณะดังกล่าวนี้ได้แก่ช่องว่างที่บรรจุน้ำมัน (ตัดแรงตามแนวรัศมีตั้ง)



รูปที่ ง.1 แสดงแผ่นแบนสองแผ่นวางขนานกัน

อนุภาคของไหลที่สัมผัสกับแผ่นบนจะเกาะติดกับแผ่นบนนั้น และถ้าหากระยะ Y ทาง Y หรือความเร็ว U ไม่มากจนเกินไปแล้ว ความเร็วของของไหลแต่ละชั้นก็จะลดหลั่นกันลงมาเป็นเส้นตรง โดยของไหลแต่ละชั้นจะเคลื่อนตัวไปบนชั้นของของไหลที่อยู่ถัดไป แรงที่ใช้ทำให้แผ่นบนเกิดการเคลื่อนที่ ของของไหลส่วนใหญ่นั้นมีค่าเป็น

$$F \propto \frac{AU}{Y} \quad (ง.1)$$

จากสามเหลี่ยมคล้ายในรูปที่ ง.1 ค่า U/Y นั้นแทนได้ด้วยความเร็วเกรเดียน (Velocity Gradient) du/dy และให้ μ เป็นค่าคงที่ ดังนั้น

$$F = \mu A \frac{U}{Y} = \mu A \frac{du}{dy} \quad (\text{ง.2})$$

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{U}{Y} = \mu \frac{du}{dy} \quad (\text{ง.3})$$

เมื่อ $\tau =$ ความเค้นเฉือน

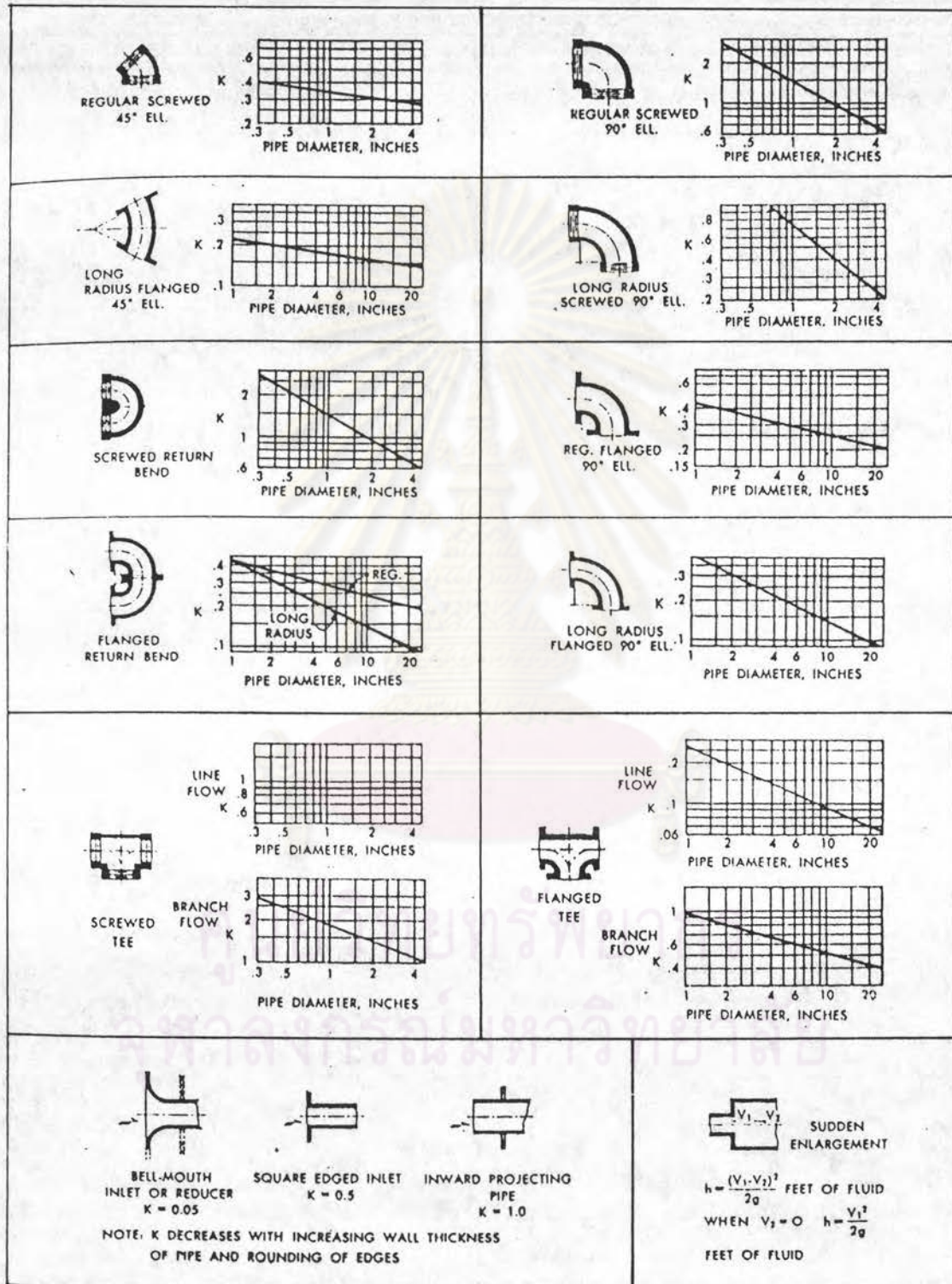
สมการที่ ง.3 เป็นสมการความหนืดของนิวตัน (Newton's Equation of Viscosity) ถ้าเขียนใหม่เพื่อแสดงว่าเป็นค่าคงที่ ดังนั้น

$$\mu = \frac{\tau}{du/dy} \quad (\text{ง.4})$$

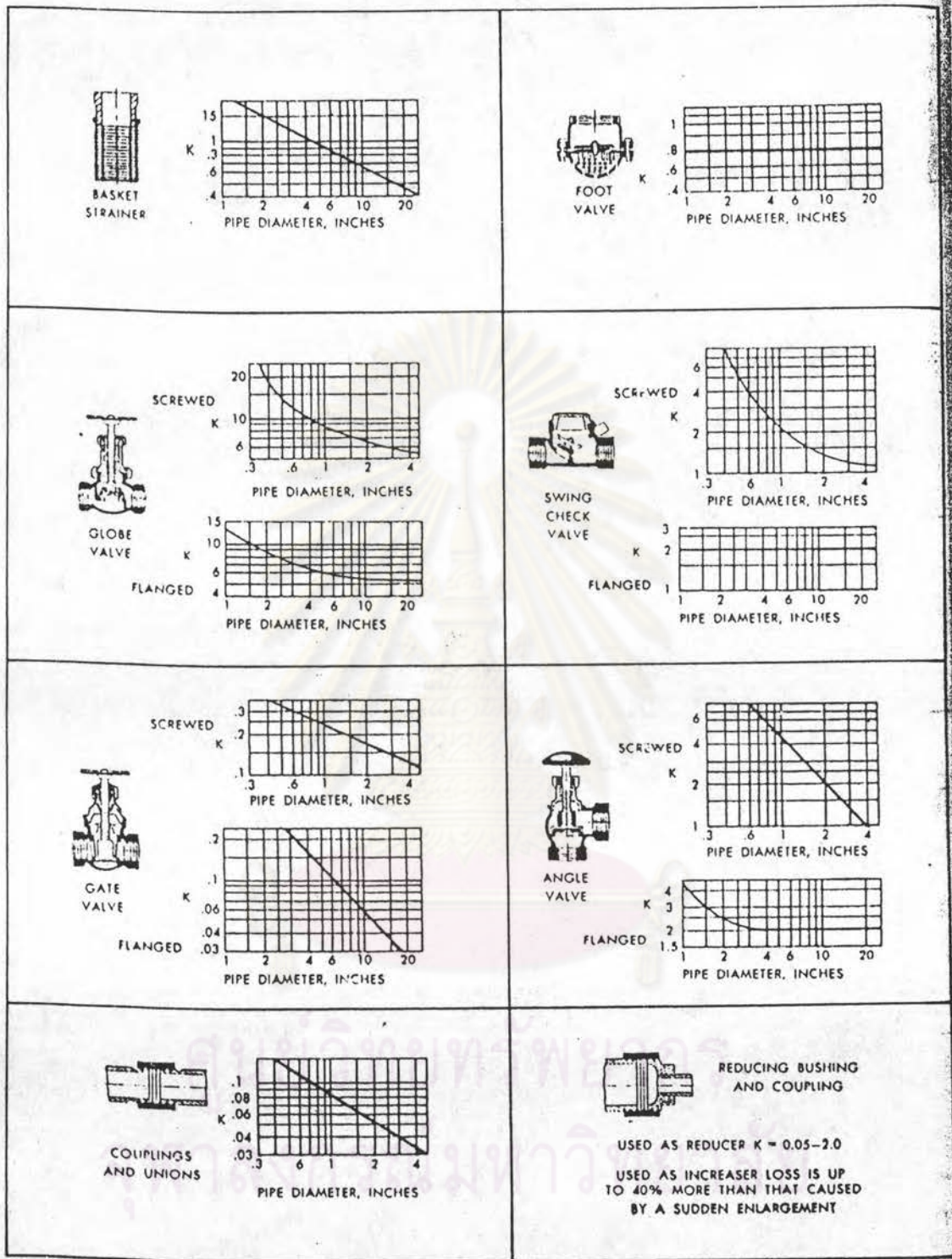
$\mu =$ สัมประสิทธิ์ของความหนืด (Coefficient of Viscosity)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ.



รูปที่ จ.1 สมบัติของ ความต้านทานการไหล



รูปที่ จ.2 สัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหล (ต่อ)

Use the equation $h_e = kv^2/2g$ unless otherwise indicated. Energy loss E_L equals h_e head loss in feet.

	<p>Perpendicular square entrance:</p> <p>$k = 0.50$ if edge is sharp.</p>														
	<p>Perpendicular rounded entrance:</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>$R/d =$</td> <td>0.05</td> <td>0.1</td> <td>0.2</td> <td>0.3</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>$k =$</td> <td>0.25</td> <td>0.17</td> <td>0.08</td> <td>0.05</td> <td>0.04</td> </tr> </table>	$R/d =$	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	$k =$	0.25	0.17	0.08	0.05	0.04		
$R/d =$	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4										
$k =$	0.25	0.17	0.08	0.05	0.04										
	<p>Perpendicular reentrant entrance:</p> <p>$k = 0.8$</p>														
	<p>Additional loss due to skewed entrance:</p> <p>$k = 0.505 + 0.303 \sin \alpha + 0.226 \sin^2 \alpha$</p>														
	<p>Suction pipe in sump with conical mouthpiece:</p> $E_L = D + \frac{5.6Q}{\sqrt{2g}D^{1.5}} - \frac{v^2}{2g}$ <p>Without mouthpiece:</p> $E_L = 0.53D + \frac{4Q}{\sqrt{2g}D^{1.5}} - \frac{v^2}{2g}$ <p>Width of sump shown: $3.5D$</p>														
	<p>Strainer bucket:</p> <p>$k = 10$ with foot valve</p> <p>$k = 5.5$ without foot valve</p>														
	<p>Standard Tee, entrance to minor line</p> <p>$k = 1.8$</p>														
	<p>Sudden expansion:</p> $E_L = \left(1 - \frac{v_2}{v_1}\right)^2 \frac{v_1^2}{2g}$ <p>or</p> $E_L = \left(\frac{v_1}{v_2} - 1\right)^2 \frac{v_2^2}{2g}$														
	<p>Sudden contraction:</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>$(d/D)^2 =$</td> <td>0.01</td> <td>0.1</td> <td>0.2</td> <td>0.4</td> <td>0.6</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>$k =$</td> <td>0.5</td> <td>0.5</td> <td>0.42</td> <td>0.33</td> <td>0.25</td> <td>0.15</td> </tr> </table>	$(d/D)^2 =$	0.01	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	$k =$	0.5	0.5	0.42	0.33	0.25	0.15
$(d/D)^2 =$	0.01	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8									
$k =$	0.5	0.5	0.42	0.33	0.25	0.15									

รูปที่ จ.3 สัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหล (ต่อ)

	<p>Confusor:</p>	$E_L = k(v_1^2 - v_2^2)/2g$ <table border="1"> <tr> <td>$\alpha^\circ =$</td> <td>20</td> <td>40</td> <td>60</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td>$k =$</td> <td>0.20</td> <td>0.28</td> <td>0.32</td> <td>0.35</td> </tr> </table>	$\alpha^\circ =$	20	40	60	80	$k =$	0.20	0.28	0.32	0.35																				
$\alpha^\circ =$	20	40	60	80																												
$k =$	0.20	0.28	0.32	0.35																												
	<p>Diffusor:</p>	$E_L = k(v_1^2 - v_2^2)/2g$ <table border="1"> <tr> <td>$\alpha^\circ =$</td> <td>6</td> <td>10</td> <td>20</td> <td>40</td> <td>60</td> <td>80</td> <td>100</td> <td>120</td> <td>140</td> </tr> <tr> <td>k for $D = 3d$</td> <td>0.12</td> <td>0.16</td> <td>0.39</td> <td>0.80</td> <td>1.0</td> <td>1.06</td> <td>1.04</td> <td>1.04</td> <td>1.04</td> </tr> <tr> <td>$D = 1.5d$</td> <td>0.12</td> <td>0.16</td> <td>0.39</td> <td>0.96</td> <td>1.22</td> <td>1.16</td> <td>1.10</td> <td>1.06</td> <td>1.04</td> </tr> </table>	$\alpha^\circ =$	6	10	20	40	60	80	100	120	140	k for $D = 3d$	0.12	0.16	0.39	0.80	1.0	1.06	1.04	1.04	1.04	$D = 1.5d$	0.12	0.16	0.39	0.96	1.22	1.16	1.10	1.06	1.04
$\alpha^\circ =$	6	10	20	40	60	80	100	120	140																							
k for $D = 3d$	0.12	0.16	0.39	0.80	1.0	1.06	1.04	1.04	1.04																							
$D = 1.5d$	0.12	0.16	0.39	0.96	1.22	1.16	1.10	1.06	1.04																							
	<p>Sharp elbow:</p>	$k = 67.6 \times 10^{-6}(\alpha^\circ)^{1.7}$																														
	<p>Bends:</p>	$k = (0.13 + 1.85(r/R)^{1.5})\sqrt{\alpha^\circ/180^\circ}$																														
	<p>Close return bend:</p>	$k = 2.2$																														
	<p>Gate valve:</p>	<table border="1"> <tr> <td>$e/D =$</td> <td>0</td> <td>1/4</td> <td>3/8</td> <td>1/2</td> <td>5/8</td> <td>3/4</td> <td>7/8</td> </tr> <tr> <td>$k =$</td> <td>0.15</td> <td>0.26</td> <td>0.81</td> <td>2.06</td> <td>5.52</td> <td>17.0</td> <td>97.8</td> </tr> </table>	$e/D =$	0	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8	$k =$	0.15	0.26	0.81	2.06	5.52	17.0	97.8														
$e/D =$	0	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8																									
$k =$	0.15	0.26	0.81	2.06	5.52	17.0	97.8																									
	<p>Globe valve:</p>	$k = 10 \text{ when fully open}$																														
	<p>Rotary valve:</p>	<table border="1"> <tr> <td>$\alpha^\circ =$</td> <td>5</td> <td>10</td> <td>20</td> <td>30</td> <td>40</td> <td>50</td> <td>60</td> <td>70</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td>$k =$</td> <td>0.05</td> <td>0.29</td> <td>1.56</td> <td>5.47</td> <td>17.3</td> <td>52.6</td> <td>206</td> <td>485</td> <td>∞</td> </tr> </table>	$\alpha^\circ =$	5	10	20	30	40	50	60	70	80	$k =$	0.05	0.29	1.56	5.47	17.3	52.6	206	485	∞										
$\alpha^\circ =$	5	10	20	30	40	50	60	70	80																							
$k =$	0.05	0.29	1.56	5.47	17.3	52.6	206	485	∞																							
	<p>Check valves:</p>	<table border="0"> <tr> <td>Swing type</td> <td>$k = 2.5$</td> <td>When fully open</td> </tr> <tr> <td>Ball type</td> <td>$k = 70.0$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Lift type</td> <td>$k = 12.0$</td> <td></td> </tr> </table>	Swing type	$k = 2.5$	When fully open	Ball type	$k = 70.0$		Lift type	$k = 12.0$																						
Swing type	$k = 2.5$	When fully open																														
Ball type	$k = 70.0$																															
Lift type	$k = 12.0$																															
	<p>Angle valve:</p>	$k = 5.0 \text{ if fully open}$																														

รูปที่ จ.4 สัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหล (ต่อ)



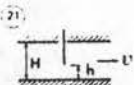
Segment gate in rectangular conduit:



$$k = 0.8 \cdot 1.3 \left[\left(\frac{1}{n} \right) - n \right]^2$$

where $n = \varphi/\varphi_0$ = the rate of opening with respect to the central angle.

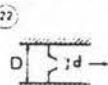
Sluice gate in rectangular conduit:



$$k = 0.3 \cdot 1.9 \left[\left(\frac{1}{n} \right) - n \right]^2$$

where $n = h/H$.

Measuring nozzle:

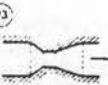


$$E_L = 0.3 \Delta p \quad \text{for} \quad d = 0.8D$$

$$E_L = 0.95 \Delta p \quad \text{for} \quad d = 0.2D$$

where Δp is the measured pressure drop.

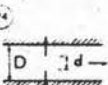
Venturi meter:



$$E_L = 0.1 \Delta p \quad \text{to} \quad 0.2 \Delta p$$

where Δp is the measured pressure drop.

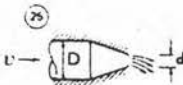
Measuring orifice, square edged:



$$E_L = \Delta p \left(1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right)$$

where Δp is the measured pressure drop.

Confusor outlet:



$d/D =$	0.5	0.6	0.8	0.9
$k =$	5.5	4	2.55	1.1



Exit from pipe into reservoir:

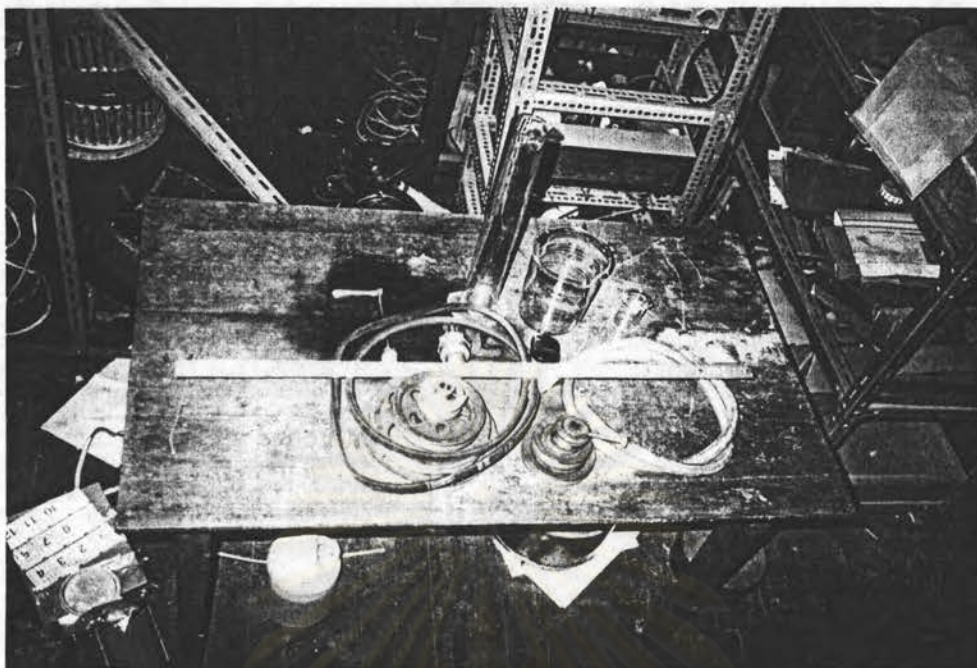
$$k = 1.0$$

Diffusor outlet for $D/d > 2$:

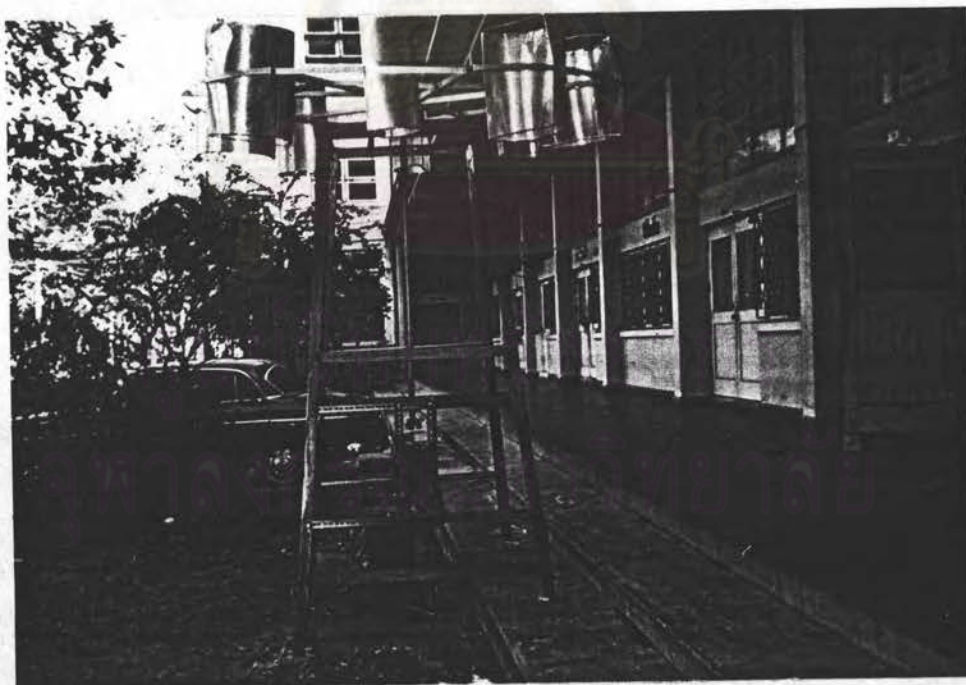


$\alpha^\circ =$	8	15	30	45
$k =$	0.05	0.18	0.5	0.6

รูปที่ จ.5 สมบัติของ ความต้านทานการไหล (ต่อ)

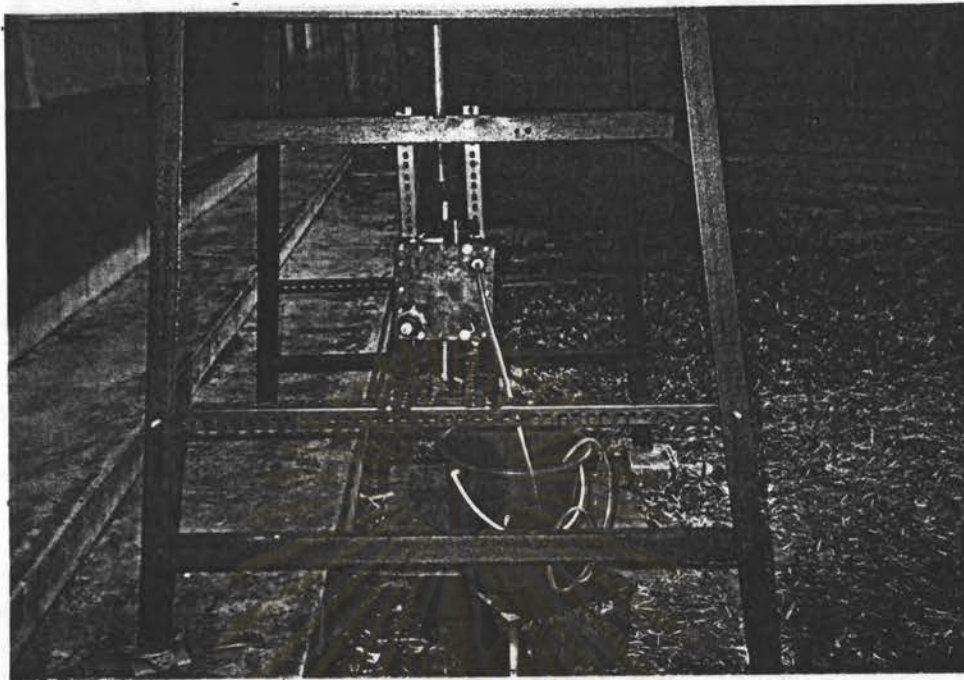


รูปที่ จ.6 เครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ จ.7 การติดตั้งเครื่องสูบน้ำและกั้นลมนแกนตั้ง

ก)



ข)



รูป จ. 8 การติดตั้งเครื่องสูบน้ำและก้านหินลมซึ่งจะต่อเข้าโดยตรงระหว่างเพลลา
ของเครื่องสูบน้ำและก้านหินลมโดยใช้ตัวคูตอ (Coupling) เป็น
ตัวกลางในการเชื่อมต่อ

รูป ก) มองทางด้านหน้าของเครื่องสูบน้ำ

ข) มองทางด้านหลังของเครื่องสูบน้ำ

ประวัติผู้เขียน

นายต่อศักดิ์ โกมาสถิตย์ เกิดเมื่อวันที่ 6 มกราคม พ.ศ. 2501
ที่อำเภอเมือง จังหวัดเลย สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์)
จากมหาวิทยาลัยรามคำแหง เมื่อปีการศึกษา 2523 เข้าศึกษาต่อระดับปริญญา
มหาบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา
2528 ขณะนี้รับราชการตำแหน่งอาจารย์ 1 โรงเรียนเลยพิทยาคม อำเภอเมือง
จังหวัดเลย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย