

รายการอ้างอิง

- Abbott, D.E., Kline, S.J., Fox, R.W., (1958), "Optimum Design of Straight Walled Diffusers," Stanford University, *Report PD4*, April, published in this issue, pp. 321-331.
- Anabtawi, A. J., Blackwelder, R., Liebeck, R., and Lissaman, P., (1998), "Experimental investigation of boundary layer ingesting diffusers of a semi-circular cross section," *AIAA Paper No. A98-16743*.
- Bradshaw, P., Culter, A.D., (1987), Three-dimensional Flows with imbedded longitudinal vortices, (ed. H.U. Meier & P. Bradshaw), pp.382, Springer.
- Brown, A. C., Franz Nawrocki, H., and Paley, P. N., (1968), "Subsonic diffusers designed integrally with vortex generators," *Journal of Aircraft*, Vol. 5, No. 3, pp. 221-229.
- Carlson, J. J., Johnston, J. P., and Sagi, C. J., (1967), "Effects of wall shape on flow regimes and performance in straight, two-dimensional diffusers," *Journal of Basic Engineering*, March 1967, pp. 151-160.
- Clauser, F.H., (1954), "Turbulent boundary layers in adverse pressure gradients," *J. Aero. Sciences*, February, pp.91-108.
- Cochran, D. L., and Kline, S. J., (1957), "The use of short flat vanes for producing efficient wide-angle two-dimensional subsonic diffusers," *NACA TN 4309*.
- Earnshaw, P.B., Lawford, J.A., (1964), "Low-Speed Wind Tunnel Experiments on a Series of Sharp-Edged Delta wings," *Aero. Res. Council*, R&M No. 3424.
- Elle, B.J., (1961), "An Investigation at Low Speed of the Flow near the Apex of Thin Delta Wings with Sharp Leading edges," *Aero. Res. Council*, R&M No.3176, 1961.
- Erickson, G. E., (1982), "Water-tunnel studies of leading-edge vortices," *Journal of Aircraft*, Vol. 19, No. 6, pp. 442-448.
- Gad-el-Hak, M., Bushnell, D.M., (1991), "Separation Control: Review," *Journal of Fluids Engineering*, Vol. 113, March, pp. 5-29.

- Goenka, L. N., Panton, R. L., and Bogard, D. G., (1990), "Pressure and three-component velocity measurements on a diffuser that generates longitudinal vortices," *Journal of Fluids Engineering*, Vol. 112, pp. 281-288.
- Harvey, L.K., (1958), "Some measurements on a Yawed slender Delata wing with Leading-Edge Separation," *Aero. Res. Council*, R&M No. 3160.
- Hoffmann, J. A., (1981), "Effects of free-stream turbulence on diffuser performance," *Journal of Fluids Engineering*, Vol. 103, pp. 385-390.
- Johari, H., Moreira, J., (1998), "Direct measurement of delta-wing vortex circulation," *AIAA J.*, Vol. 36, No. 12, pp.2195-2203.
- Klein, A., (1981), "Review: Effects of inlet conditions on conical-diffuser performance," *Journal of Fluids Engineering*, Vol. 103, pp. 250-257.
- Kline, S. J., (1959), "On the nature of stall," *Journal of Basic Engineering*, September 1959, pp. 305-320.
- Kline, S. J., Abbott, D. E., and Fox, R. W., (1959), "Optimum design of straight-walled diffusers," *Journal of Basic Engineering*, September 1959, pp. 321-331.
- Kline, S.J., (1985), "The Purpose of Unceertainty Analysis," *Journal of Fluids Engineering*, June, Vol. 107, pp. 153-159.
- Lambourne, N.C., and Bryer, D. W., (1961), "The bursting of leading-edge vortices - Some observations and discussion of the phenomenon," *Aero. Res. Council*, R & M No. 3282.
- Lee, M., Shih, C., and Ho, C.M., (1987), " Response of a Delta Wing in Steady and Unsteady Flow," *Proc. Forum on Unsteady Flow Separation, ASME 1987 Fluids Engineering Conference, FED*, Vol.52, pp.19-24.
- McKernan, J. F., and Nelson, R. C., (1983), "An investigation of the breakdown of the leading-edge vortices on a delta wing at high angles of attack," *AIAA Paper No.* 83-2114.
- Mehta, R.D., (1977), "The Aerodynamic Design of Blower Tunnels with Wide-Angle Diffusers," *Prog. Aerospace Sci.*, Pergamon Press, Vol. 18, pp. 59-120.
- Menke, M. and Gursul, I., (1997), "Unsteady nature of leading edge vortices," *Phys. Fluids*, Vol.9, No.10, pp.2960-2965.
- Metha, R.D., and Bradshaw, P., (1988), "Longitudinal vortices imbedded in turbulent boundary layer, Part 2: Vortex pair with "common flow" upwards," *J Fluid Mech.*

- Moore, C. A., Jr., and Kline, S. J., (1958), "Some effects of vanes and of turbulence on two-dimensional wide-angle subsonic diffusers," *NACA TN 4080*.
- Pauley, W.R., Eaton, J.K., (1988), "Experimental Study of the Development of Longitudinal Vortex Pairs Embedded in a Turbulent Boundary Layer," *AIAA Journal*, Vol. 26, No. 7, pp. 816-823.
- Pimpin, A., Bunyajitradulya, A., (1998), "On The Performance of A Sraight-Walled Diffuser with Delta-Wing Vortex Generators," *The 12th National Academic seminar on Mechanical Engineering*, Vol. 2, pp. 90-101.
- Pimpin, A., Bunyajitradulya, A., (1999), "The Design and Development of The FMRL 60x18 cm² Wide-Angle Screened-Diffuser Blower Tunnel Part I: General Design Considerations," *The 13th National Academic seminar on Mechanical Engineering*, Vol. 2, pp. 13-26.
- Prandtl, L., (1925), "Magnuseffekt und Windkraftschiff," *Naturwissenschaften*, Vol. 3, pp. 93-108.
- Rassame, S., Siripoorikan, B., Buensawang, S., Petitanalap, Y., and Bunyajitradulya, A., (1998), "Visualization of fluid flows using the smoke-wire technique," *Research and Development Journal of The Engineering Institute of Thailand*, Vol.9, No.2, pp.71-87.
- Reneau, L. R., Johnston, J. P., and Kline, S. J., (1967), "Performance and design of straight, two-dimensional diffusers," *Journal of Basic Engineering*, March 1967, pp. 141-150.
- Sakulyanontvittaya, T., Ngow, P., Prasartkarnkha, A., Chalokepunrat, S., Pimpin, A., Bunyajitradulya A. (1999)," The Design and Development of The FMRL 60x18 cm² Wide-Angle Screened-Diffuser Blower Tunnel Part III: The Settling Chamber, The Contraction, and The Wind Tunnel," *The 13th National Academic seminar on Mechanical Engineering*, Vol. 2, pp. 38-44.
- Sathapornnanon, S., Wattanawanichakorn, A., Trakulmaipol, S., Lumluksanapaiboon, M., Pimpin, A., Bunyajitradulya A., (1999)," The Design and Development of The FMRL 60x18 cm² Wide-Angle Screened-Diffuser Blower Tunnel Part II: The Screened Diffuser," *The 13th National Academic seminar on Mechanical Engineering*, Vol. 2, pp. 27-37.
- Schlichting, H., (1968), Boundary-Layer Theory, 6th edition, McGraw-Hill book company, pp.25-64.

- Senoo, Y., and Nishi, M., (1974), "Improvement of the performance of conical diffuser by vortex generators," *Journal of Fluids Engineering*, March, pp. 4-10.
- Sforza, P.M., Stasi, W., Paziienza, W. and Smorto, M., (1978), "Flow measurements in Leading-Edge Devices," *AIAA Journal*, Vol. 16, March 1978, pp.218-224.
- Shabaka, I.M.M.A., Metha, R.D., Bradshaw, R.D., (1985), "Longitudinal vortices imbedded in turbulent boundary layers, Part.1 Single vortex," *J. fluid Mech.*, Vol.155, pp. 37.
- Stevens, S. J., and Williams, G. J., (1980), "The influence of inlet conditions on the performance of annular diffusers," *Journal of Fluids Engineering*, Vol. 102, pp. 357-363.
- Waitman, B. A., Reneau, L. R., and Kline, S. J., (1961), "Effects of inlet conditions on performance of two-dimensional diffusers," *Journal of Basic Engineering*, Trans. ASME, Series D, Vol. 83, pp. 349-360.
- Wentz, W. H., and Kohlman, D. L., (1971), "Vortex breakdown on slender sharp-edged wings," *Journal of Aircraft*, Vol. 8, No. 3, pp. 156-161.
- Wentz, W.H. Jr., (1972), "Effects of Leading Edge Camber on Low Speed Characteristics of Slender Delta Wings," *NASA CR-2002*, Oct. 1972.
- Westphal, R.V., Eaton, J.K., and Pauley, W.R., (1987), "Interaction Between a Vortex and a Turbulent Boundary Layer in a Streamwise Pressure Gradient," *Turbulent Shear Flows*, Vol. 5, pp. 266-27
- Yang, Tah-teh, and Nelson, C. D., (1979), "Griffith diffusers," *Journal of Fluids Engineering*, Vol. 101, pp. 473-477.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การศึกษาเบื้องต้น

ก.1 ชุดทดลอง

การศึกษาเบื้องต้นทำที่ห้องปฏิบัติการวิจัยกลศาสตร์ของไหล (FMRL) ตึกวิศวกรรม 5 ชั้น 3 ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยการดัดแปลงเครื่องมือที่ใช้ศึกษา Smoke-wire visualization technique ของ Rassame et. al. (1998) ซึ่งชุดทดลองประกอบด้วยอุโมงค์ลมที่มีดิฟฟิวเซอร์ผนังโค้งขนาด equivalent cone angle เท่ากับ 25 องศา ใช้มุ้งลวด 3 อันใน settling chamber มีการเรียงตัวตามขนาดของ mesh คือ 50, 50 และ 80 ตามลำดับ และใช้หลอดกาแฟทำเป็น honeycomb สำหรับทางออกเป็น contraction ที่ทำจากเหล็ก มี AR เท่ากับ 9 ต่ออยู่กับ test section ขนาด 6×6 นิ้ว² ใช้ blower 2 ตัวต่อขนานกันเพื่อเพิ่มความเร็วของการไหลให้สูงขึ้น โดยที่ลักษณะของอุโมงค์ลมและชุดทดลองของการศึกษาเบื้องต้นเป็นดังรูปที่ ก.1

สำหรับส่วนของชุดทดลองจะประกอบด้วยท่อตรงมีหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 6×6 นิ้ว² เชื่อมระหว่าง contraction และดิฟฟิวเซอร์ ซึ่งมีความยาวทั้งหมด 5 ฟุต ทำจากอะคริลิกใส ดิฟฟิวเซอร์ที่ใช้ในการทดลองเป็นดิฟฟิวเซอร์ 2 มิติหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ทำจากอะลูมิเนียมหนา 3 มม. มีค่า inlet aspect ratio (b_1/W_1) เท่ากับ 1, AR เท่ากับ 2.25, ค่า dimensionless axial length (L/W_1) เท่ากับ 3.38 และมุมรวมของดิฟฟิวเซอร์เท่ากับ 24 องศา และจากแผนภูมิของการไหลในดิฟฟิวเซอร์พบว่าดิฟฟิวเซอร์มีลักษณะการไหลแบบ Transitory stall โดยมี tailpipe ต่อกออกจากปากทางออกดิฟฟิวเซอร์ยาว 24 นิ้ว ทำจากอะลูมิเนียมเช่นเดียวกัน และค่าเรโนลด์นัมเบอร์ของการไหลที่ทางเข้าดิฟฟิวเซอร์เท่ากับ 6.5×10^4 มีความหนา 95% ของชั้นขอบเขต (δ) เท่ากับ 16 มม. และมี displacement thickness ของชั้นขอบเขต (δ_1) เท่ากับ 2.9 มม. ซึ่งทำให้ค่า inlet blockage, B_1 เท่ากับ 7 %

ในการทดลองได้ใช้วอร์เท็กซ์เจเนอเรเตอร์แบบปีกสามเหลี่ยม (delta wing, ซึ่งจะแตกต่างจากงานวิจัยซึ่งใช้ half-delta wing) ทำจากแผ่นสังกะสีหนา 1 มม. วางที่ทางเข้าของดิฟฟิวเซอร์ เฉพาะบนด้านผนังเฉียงด้านละ 1 คู่ ซึ่งตำแหน่งของฐานปีกสามเหลี่ยมจะอยู่ตรงปากทางเข้าของดิฟฟิวเซอร์พอดี ในทุกการทดลองใช้ปีกสามเหลี่ยมที่มีมุม sweepback (Λ) เท่ากับ 75° โดยลักษณะของการติดตั้งและตำแหน่งการวางปีกแบบสามเหลี่ยมเป็นไปตามรูปที่ ก.2

การวัดค่าความดันสถิตใช้ pressure tap ทำจากท่อทองเหลืองที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ม.ม. และอ่านค่าความดันโดยใช้ inclined manometer ที่มี resolution 2 ม.ม.น้ำ สำหรับการวัดความดันสถิตที่ตำแหน่งทางเข้าได้ทำการวัดที่ระยะ 6 นิ้วก่อนทางเข้าดิฟฟิวเซอร์ โดยมีตำแหน่งของ pressure tap ทั้งหมด 12 ตำแหน่งเว้นระยะห่างเท่าๆกันโดยรอบท่อ สำหรับที่ทางออกได้ทำการวัดค่าความดันสถิตที่ระยะ 6 นิ้ว จากปากทางออกของดิฟฟิวเซอร์ โดยใช้ pressure tap ทั้งหมด 14 ตำแหน่ง มีระยะห่างของแต่ละตำแหน่งเท่าๆกัน สำหรับการวัดค่าความดันสถิตได้ทำการวัดเทียบกับ pressure tap ตรงกลางบนผนังด้านบนที่ตำแหน่งทางเข้าของดิฟฟิวเซอร์ ซึ่งในตอนเริ่มการทดลองได้ลองวัดค่าความดันสถิตโดยรอบท่อทางเข้าดิฟฟิวเซอร์และพบว่าค่าความดันที่ทุกๆตำแหน่งมีค่าเกือบจะเท่ากัน

การวัดการกระจายความเร็วที่หน้าตัดทางออกของดิฟฟิวเซอร์ ได้ใช้ pitot probe มาตรฐาน ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 3 ม.ม. และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 1 ม.ม. โดยวัดเทียบกับ pressure tap ที่ตำแหน่งนั้นๆ ซึ่งมีระยะห่างระหว่างจุดการวัดทั้งแนว spanwise และแนว transverse เท่ากับ 1 นิ้ว สำหรับการวัดการกระจายความเร็วและรูปร่างความเร็วในชั้นขอบเขตที่ทางเข้าดิฟฟิวเซอร์ได้ใช้การวัดในลักษณะเดียวกัน และจากการวัดความเร็วที่ท่อทางเข้าดิฟฟิวเซอร์พบว่ามีความเร็วสม่ำเสมอเกือบทั้งหน้าตัดท่อยกเว้นในบริเวณชั้นขอบเขตเท่านั้น

ก.2 พารามิเตอร์ของการทดลอง

จากการทำ dimensional analysis พบว่าพารามิเตอร์ของวอร์เทกซ์เจเนอเรเตอร์แบบปีกสามเหลี่ยมที่มีผลต่อการเกิดวอร์เทกซ์และมีผลต่อสมรรถนะของดิฟฟิวเซอร์ประกอบไปด้วย

- Λ เป็นมุม sweepback ของปีกสามเหลี่ยม
- α เป็นมุมปะทะของปีกสามเหลี่ยมกับการไหล (angle of attack)
- h/δ เป็นอัตราส่วนของความสูงของปลายยอดของปีกสามเหลี่ยมต่อความหนา 95% ของชั้นขอบเขต
- S/δ เป็นอัตราส่วนของระยะห่างระหว่างแกนของปีกสามเหลี่ยม 2 อันต่อความหนา 95% ของชั้นขอบเขต

จากการศึกษาผลงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า vortex strength และตำแหน่งของการเกิดการสลายตัวของวอร์เทกซ์จะขึ้นกับ A และ α อย่างมาก โดยที่ vortex strength จะมีค่ามากขึ้นเมื่อเพิ่ม A หรือเพิ่ม α และตำแหน่งของการเกิดการสลายตัวของวอร์เทกซ์จะเลื่อนระยะไปทางด้านหลังของปีกสามเหลี่ยมมากขึ้น ถ้าเพิ่ม A หรือลด α ลง (ดูรายละเอียดใน Lambourne and Bryer, 1961; Earnshaw and Lawford, 1964; Sforza et al., 1978; Erickson, 1982; และ Mckernan and Nelson, 1983) สำหรับปีกแบบสามเหลี่ยมที่มีค่า A เท่ากับ 75 องศา นั้น Wentz และ Kohlman (1971) ได้พบว่าตำแหน่งของการเกิดการสลายตัวของวอร์เทกซ์จะอยู่ที่ตำแหน่งปลายฐานของปีกสามเหลี่ยมถ้ามุมปะทะของปีกมีค่าเท่ากับ 36 องศา

ในการทดลองนี้ ได้ทำการวัดค่าสมรรถนะของดิฟฟิวเซอร์ที่ไม่มีปีกสามเหลี่ยมเปรียบเทียบกับดิฟฟิวเซอร์ที่ติดตั้งปีกสามเหลี่ยม 7 ขนาดด้วยกัน คือ ปีกสามเหลี่ยมที่มีมุมปะทะ 5, 10 และ 20 องศา โดยที่แต่ละปีกสามเหลี่ยมจะมีค่า h/δ เท่ากับ 0.5, 1.0 และ 1.5 และกำหนดระยะห่างของปีกทั้งสอง (S/δ) เท่ากับ 4.5 ทุกการทดลอง โดยได้แสดงพารามิเตอร์ของการทดลองไว้ในตารางที่ ก.1 สำหรับสาเหตุที่ทำการทดลองในกรณีนี้ติดตั้งปีกแบบสามเหลี่ยมมีมุมปะทะเท่ากับ 5 องศาแค่ค่า h/δ เท่ากับ 0.5 เท่านั้น เพราะท่อมีขนาดเล็กเกินไปไม่สามารถติดตั้งวอร์เทกซ์เจเนอเรเตอร์ที่มีขนาดใหญ่ได้

และเพื่อให้การเรียกชื่อการทดลองง่ายขึ้น จึงได้มีการกำหนดสำหรับสัญลักษณ์ของการทดลองซึ่งเป็นลักษณะดังนี้คือ D10-0.5 หมายความว่ามีการติดตั้งวอร์เทกซ์เจเนอเรเตอร์ที่มีมุมปะทะเท่ากับ 10 องศา และมีค่า h/δ เท่ากับ 0.5 ส่วนกรณีที่เป็นดิฟฟิวเซอร์ที่ไม่ได้ติดตั้งปีกสามเหลี่ยมจะกำหนดสัญลักษณ์เป็น D0-0

ก.3 ผลการทดลอง

ผลของการวัดค่าสัมประสิทธิ์ที่แสดงถึงสมรรถนะของดิฟฟิวเซอร์ของทุกการทดลอง ได้แสดงไว้ในตารางที่ ก.2 ซึ่งจะกล่าวถึงผลการทดลองตามลำดับสัมประสิทธิ์ ดังต่อไปนี้

สัมประสิทธิ์การฟื้นความดันสถิต (Static-pressure recovery)

สัมประสิทธิ์การฟื้นความดันสถิตเป็นเทอมที่แสดงถึงความสามารถของดิฟฟิวเซอร์ในการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ที่ทางเข้าดิฟฟิวเซอร์มาเป็นพลังงานศักย์ ในรูปของความดันสถิตที่เพิ่มขึ้น โดยแสดงค่าเป็นอัตราส่วนของพลังงานจลน์ที่ทางเข้าดิฟฟิวเซอร์ ได้นิยามเป็น

$$C_p = \frac{\bar{P}_2 - \bar{P}_1}{\bar{q}_1}$$

โดยที่ P คือความดันสถิต และ q คือความดันจลน์ ส่วน subscript 1 และ 2 แทนตำแหน่งที่ทางเข้าและทางออกของดิฟฟิวเซอร์ สำหรับ $(\bar{\quad})$ แทนสัญลักษณ์ของ mass averaged

ในรูปที่ ก.3 เป็นกราฟที่แสดงแนวโน้มของสัมประสิทธิ์การฟื้นความดันสถิตของทุกการทดลอง โดยมีค่า uncertainty ของผลการทดลองไม่เกิน ± 0.03 (รายละเอียดของการคำนวณค่า uncertainty สามารถศึกษาจาก Kline, 1985) จากกราฟพบว่าค่า C_p ของดิฟฟิวเซอร์ที่ไม่ได้ติดตั้งวอร์เทกซ์เจเนอเรเตอร์ (case D0-0) มีค่าเท่ากับ 0.39 ซึ่งเท่ากับผลการทดลองของ Carlson et al. (1967) ทำให้แน่ใจได้ว่าวิธีการวัดความดันในการทดลองนี้มีความถูกต้อง

สำหรับ C_p ของดิฟฟิวเซอร์ที่มีวอร์เทกซ์เจเนอเรเตอร์ จะมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะดังนี้คือเมื่อมุมปะทะของปีกแบบสามเหลี่ยมเท่ากับ 5 และ 10 องศาจะสามารถเพิ่มค่า C_p ของดิฟฟิวเซอร์ได้ทุกค่า h/δ แต่สำหรับปีกแบบสามเหลี่ยมที่มีมุมปะทะเท่ากับ 20 องศา เมื่อเพิ่ม h/δ แล้ว ค่า C_p ของดิฟฟิวเซอร์จะเพิ่มเพียงเล็กน้อยหรือบางกรณีแล้วค่า C_p จะลดลงเล็กน้อย สำหรับปีกแบบสามเหลี่ยมที่สามารถเพิ่มค่า C_p ของดิฟฟิวเซอร์ได้มากที่สุดในการทดลองนี้คือ D10-0.5 ซึ่งมีค่า C_p เท่ากับ 0.47 หรือสามารถเพิ่มค่า C_p จากดิฟฟิวเซอร์ที่ไม่มีวอร์เทกซ์เจเนอเรเตอร์ได้ 20%

สำหรับปีกแบบสามเหลี่ยมที่มีมุมปะทะ 10 องศา เมื่อทำการเพิ่มค่า h/δ จาก 0.5, 1.0 เป็น 1.5 ตามลำดับแล้ว จะพบว่าค่า C_p ของดิฟฟิวเซอร์ลดลงแล้วมีค่าเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย ซึ่งแนวโน้มนี้จะมีลักษณะตรงกันข้ามกับกรณีที่ใช้ปีกสามเหลี่ยมที่มีมุมปะทะ 20 องศา ดังนั้นจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_p กับ α และ h/δ มีความซับซ้อน

จากการพิจารณาจะพบว่ามีการมีพารามิเตอร์ของวอร์เทกซ์เจเนอเรเตอร์แบบปีกสามเหลี่ยมที่มีผลต่อสมรรถนะของดิฟฟิวเซอร์คือ มุมปะทะ (α), ความสูงของปีก (h/δ) และพื้นที่ของปีก A_p ซึ่งพารามิเตอร์ทั้งสามนี้จะมีผลต่อความสามารถของปีกสามเหลี่ยมที่จะดึงเอาโมเมนตัมจาก freestream เข้าไปสู่การไหลในชั้นขอบเขตได้ และมีผลทำให้สามารถชะลอหรือลดการเกิดการไหลแยกตัวออกจากผนัง

เมื่อพิจารณาแต่ละพารามิเตอร์ พบว่า α จะมีผลต่อ strength ของ leading-edge vortices, h/δ มีผลต่อปริมาณโมเมนตัมของของไหลที่สามารถดึงเข้าสู่การไหลในชั้นขอบเขต และสำหรับ A_p จะมีผลต่อปริมาณโมเมนตัมของของไหลที่สามารถดึงเข้าสู่การไหลในชั้นขอบเขต และขนาดของ วอร์เทกซ์ที่เกิดขึ้น นอกจากจะมีวอร์เทกซ์ที่เกิดขึ้นบนปีกสามเหลี่ยมแล้วอาจจะมีการเกิดวอร์เทกซ์ที่ฐานของตัววอร์เทกซ์เจเนอเรเตอร์ได้อีกด้วย แต่สำหรับการทดลองเบื้องต้นนี้ไม่ได้ทำ flow

visualization ทำให้ไม่สามารถเห็นปรากฏการณ์การไหลทั้งหมดได้ จึงไม่สามารถสรุปได้อย่างชัดเจน

ดังนั้นจากการทดลองทำให้สามารถสรุปได้ว่า การใช้วอร์เทกซ์เจเนอเรเตอร์ในดิวีฟิวเซอร์ที่ใช้ในการทดลองนี้จะสามารถเพิ่มสมรรถนะของดิวีฟิวเซอร์ได้ แต่ความสัมพันธ์ของค่า C_p จะขึ้นกับพารามิเตอร์ทั้งสามตามที่กล่าวมาแล้วอย่างซับซ้อน และหากเลือกใช้ปีกสามเหลี่ยมที่ออกแบบไม่เหมาะสมอาจจะทำให้ค่า C_p ของดิวีฟิวเซอร์ลดลงได้เช่นเดียวกับกรณี D20-0.5 ในการทดลองนี้ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากพื้นที่ของปีก A_w มีขนาดเล็กเกินไปทำให้มีพื้นที่เกิดวอร์เทกซ์น้อย และเป็นผลทำให้ Blockage ratio เพิ่มขึ้นอย่างเฉียบพลัน ถ้าพิจารณาที่มุมปะทะของปีก 10 องศา พบว่าค่า C_p ลดลงเมื่อค่า h/δ เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจจะเกิดจากการที่ตำแหน่งของวอร์เทกซ์ที่เกิดขึ้นอยู่สูงจากพื้นมาก เมื่อวอร์เทกซ์เคลื่อนที่ออกจากปีกในตำแหน่งที่สูงกว่าชั้นขอบเขตทำให้การถ่ายเทโมเมนตัมไปสู่ชั้นขอบเขตไม่ดีพอ และเพิ่มสมรรถนะของดิวีฟิวเซอร์ได้เพียงเล็กน้อย

การทดลองนี้ได้ทำการทดลองในกรณีที่มีวอร์เทกซ์เจเนอเรเตอร์น้อยไป ทำให้แนวโน้มของผลการทดลองไม่แสดงออกมาชัดเจน และในการทดลองนี้ไม่ได้สนใจผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างวอร์เทกซ์ที่อยู่ติดกัน จึงกำหนดระยะ $S/\delta = 4.5$ เท่ากันทุกการทดลอง ซึ่งเป็นระยะที่ห่างกันมากและเชื่อมั่นได้ว่าจะไม่มีผลของวอร์เทกซ์ที่อยู่ติดกัน

สัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันรวม (Total pressure loss coefficient)

ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันรวมเป็นแสดงพลังงานสูญเสียไปเมื่อการไหลผ่านดิวีฟิวเซอร์ ซึ่งเป็นความดันรวมเฉลี่ยที่ลดลง ได้นิยามเป็น

$$K = \frac{\bar{P}_{r1} - \bar{P}_{r2}}{\bar{q}_1}$$

โดยที่ P_r คือค่าความดันรวม และรูปที่ ก.4 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันรวมของทุกกรณี โดยค่า uncertainty ของ K ไม่เกิน ± 0.05 ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูง เพราะเครื่องมือที่ใช้ในการทำการทดลองคือ pitot probe ไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้วัดที่ความเร็วต่ำ

จากกราฟพบว่า ดิวีฟิวเซอร์ที่ไม่มีวอร์เทกซ์เจเนอเรเตอร์มีค่า K เท่ากับ 0.18 ส่วนในกรณีอื่น ๆ พบว่า K จะมีค่าเพิ่มขึ้นเกือบทุกกรณียกเว้น D5-0.5 และ D10-0.5 ที่มีค่าเท่ากับกรณีที่ไม่ได้ติดตั้งวอร์เทกซ์เจเนอเรเตอร์ และกรณี D10-0.5 จะเป็นวอร์เทกซ์เจเนอเรเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด

สำหรับการทดลองนี้ เพราะว่าสามารถเพิ่มค่า C_p ได้ 20% และค่า K มีค่าเพิ่มขึ้นจากดิฟฟิวเซอร์แบบธรรมดาไม่มากนัก

สำหรับวอร์เทกซ์เจเนอเรเตอร์ที่มีมุมปะทะเดียวกัน ค่า K จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มค่า h/δ ของวอร์เทกซ์เจเนอเรเตอร์ขึ้น เพราะจะสามารถทำให้มวลของไหลจาก freestream ปริมาณมากขึ้นมาเคลื่อนที่หมุนวนเป็นวอร์เทกซ์ แต่จะทำให้มีการสูญเสียพลังงานมากขึ้น เนื่องจากกลไกของการสลายตัวของวอร์เทกซ์

แต่การพล็อตกราฟ K เทียบกับ h/δ ตามรูปที่ ก.4 อาจจะทำให้ไม่เห็นภาพทางฟิสิกส์ได้ดี เหมือนกับการพล็อตกราฟ K เทียบกับเทอม nA_w/A_s ซึ่งเทอมนี้จะแสดงอัตราส่วนของพื้นที่ของปีกต่อพื้นที่ที่ขวางการไหลของชั้นขอบเขต (Displacement thickness) โดยที่ n แทนจำนวนของปีกแบบสามเหลี่ยม และได้แสดงผลการทดลองไว้ในรูปที่ ก.5 ซึ่งเป็นการแสดงถึงความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่าง ค่า K กับพื้นที่ของปีกสามเหลี่ยม คือที่มุมปะทะเดียวกันค่า K จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ A_w ของวอร์เทกซ์เจเนอเรเตอร์เพิ่มมากขึ้น และถ้าปีกมี A_w เท่ากัน ค่า K จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อมุมปะทะของปีกเพิ่มมากขึ้น เพราะปีกที่ตั้งฉากกับ freestream มากขึ้น จะทำให้พื้นที่ที่ขวางการไหลมากขึ้น และทำให้แรงดันที่เกิดขึ้นบนปีกมากตามไปด้วย ดังนั้นค่า K จึงมากขึ้นด้วย

สำหรับการศึกษาผลของ Blockage area ที่เพิ่มขึ้นจากปีกแบบสามเหลี่ยมต่อค่า K ของดิฟฟิวเซอร์ และได้ทำการกำหนดแฟคเตอร์ B_w ซึ่งนิยามเป็น

$$B_w = \frac{A_{s1} + nA_{\perp}}{A_1}$$

โดยที่ A_{\perp} เป็นพื้นที่ของปีกที่ตั้งฉากกับ freestream โดยแสดงผลการทดลองในรูปที่ ก.6 จะเห็นว่ากราฟของทุกมุมปะทะของปีกไม่ได้ซ้อนทับเป็นเส้นเดียวกัน หมายความว่าค่า K จะเป็นฟังก์ชันทั้งพื้นที่ของปีกสามเหลี่ยมและพารามิเตอร์ของ Blockage area ที่ได้กำหนดขึ้นมา

แต่โดยปกติแล้วค่า K ที่แท้จริงของดิฟฟิวเซอร์จะมีค่ามากกว่าค่า K ที่วัดได้ โดยจะขึ้นกับลักษณะของ velocity contour ที่ทางออกของดิฟฟิวเซอร์ ถ้ารูปร่างความเร็วมีความสม่ำเสมอ ค่าแตกต่างระหว่าง K ที่วัดได้กับ K จริง ๆ จะต่างกันมาก เนื่องจากจะมีกระบวนการ viscous dissipation มาก่อนที่การไหลจะไหลไปสู่สภาวะ fully-developed flow ดังนั้นจะนิยามเทอมไร้มิติของความเร็วที่ทางออกเป็น $\bar{U} = \frac{U - \bar{U}}{\bar{U}}$, โดยแสดงผลการทดลองไว้ในรูปที่ ก.7

ถ้าทำการเปรียบเทียบกรณี D0-0 กับกรณีอื่น พบว่าจะมีบริเวณของความเร็วต่ำด้านหนึ่ง ของหน้าตัดดัดฟิวเซอร์ แสดงว่าการเกิดการไหลแยกตัวออกจากผนังทำให้ความเร็วที่ทางออกไม่ สม่ำเสมอและไม่สมมาตรอย่างมาก แต่ในกรณีอื่นๆที่มีวอร์เท็กซ์เจเนอเรเตอร์จะทำให้บริเวณที่มี ความเร็วต่ำนี้ลดลง ซึ่งหมายถึงวอร์เท็กซ์เจเนอเรเตอร์สามารถลดการไหลแยกตัวออกจากผนังได้ และทำให้ความสม่ำเสมอและความสมมาตรของความเร็วที่ทางออกมากขึ้น แสดงให้เห็นว่า D0-0 น่า จะมีพลังงานสูญเสียที่แท้จริงมากกว่าในกรณีอื่น ๆ

ดัชนีความเบี่ยงเบนความดันรวม (Total-pressure distortion index)

นอกจากสัมประสิทธิ์ที่ได้กล่าวไปแล้ว ยังมีดัชนีอีกค่าหนึ่งที่มีความสำคัญในการใช้งานดัด ฟิวเซอร์คือความสม่ำเสมอของความดันรวมที่ทางออกของดัดฟิวเซอร์ เพราะถ้าการกระจายตัวของ ความดันรวมที่ทางออกไม่สม่ำเสมอจะมีผลต่ออุปกรณ์ที่อยู่ต่อออกจากทางออกของดัดฟิวเซอร์อย่าง มากตามที่กล่าวไว้ในบทนำ โดยได้นิยามเทอมที่แสดงความสม่ำเสมอของความดันรวมที่ทางออก ของดัดฟิวเซอร์เป็น Total-pressure distortion index (D) ซึ่งนิยามเป็น

$$D = \frac{\hat{P}_{TA} - \hat{P}_T}{\hat{P}_T}$$

โดยที่ \hat{P}_{TA} เป็นค่า area averaged ของความดันรวมในพื้นที่ที่สนใจ ซึ่งในการทดลองนี้ได้กำหนด ขนาดของพื้นที่ที่สนใจเป็น 3×3 นิ้ว² สำหรับ \hat{P}_T เป็นค่า area averaged ของความรวมทั้งหน้าตัดที่ ทางออกของดัดฟิวเซอร์ โดยค่า distortion index ที่มีค่ามากที่สุด (D_{max}), ค่า distortion index ที่มี ค่าน้อยที่สุด (D_{min}) และความแตกต่างระหว่างค่าทั้งสอง (ΔD) ได้แสดงไว้ในรูปที่ ก.8

จากกราฟพบว่าเมื่อใช้วอร์เท็กซ์เจเนอเรเตอร์จะทำให้ค่าสัมบูรณ์ของ D_{max} และ D_{min} ลด ลง และสำหรับวอร์เท็กซ์เจเนอเรเตอร์ที่มีมุมปะทะเท่ากัน ค่าความแตกต่างระหว่างค่ามากที่สุดและ น้อยที่สุดของ D จะลดลงเมื่อเพิ่มค่า h/δ ขึ้น

ซึ่งการกระจายตัวของความดันรวมที่ทางออกของดัดฟิวเซอร์จะมีลักษณะที่คล้ายกับกราฟ การกระจายของความเร็ว โดยได้แสดงลักษณะการกระจายตัวของความดันรวมที่ทางออกของดัดฟิว เซอร์ ไว้ในรูปที่ ก.9

ก.5 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่า การใช้วอร์เทกซ์เจเนอเรเตอร์ชนิด delta wing จะสามารถปรับปรุงสมรรถนะของดิฟฟิวเซอร์หน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าตรงได้ แต่จะขึ้นกับพารามิเตอร์ทางรูปร่างของตัววอร์เทกซ์เจเนอเรเตอร์ที่ใช้ด้วย

สำหรับค่า C_p จะขึ้นกับ α และ h/δ ของปีกสามเหลี่ยมในลักษณะที่ซับซ้อน และในทางตรงกันข้ามค่า K จะขึ้นกับแรงดันที่เกิดขึ้นบนตัววอร์เทกซ์เจเนอเรเตอร์โดยตรง นอกจากนี้แล้วการใช้วอร์เทกซ์เจเนอเรเตอร์จะสามารถลดบริเวณของการไหลหมุนวน (Recirculation zone)

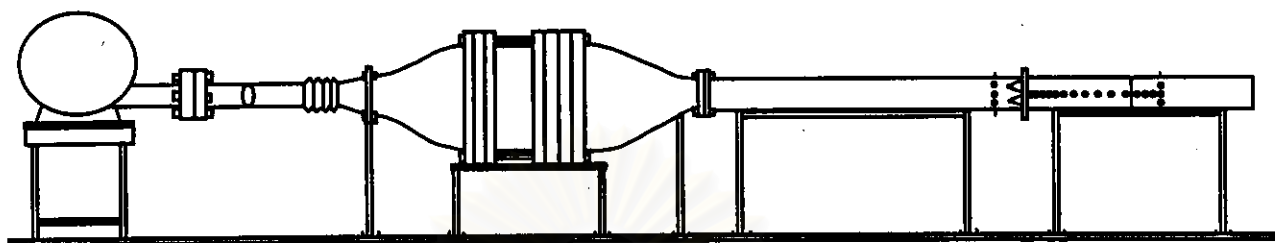
จากการทดลองนี้ จะสามารถเพิ่มสมรรถนะของดิฟฟิวเซอร์ได้โดยการใช้วอร์เทกซ์เจเนอเรเตอร์ชนิดปีกสามเหลี่ยมที่มีมุมปะทะประมาณเท่ากับมุมของผนังเอียงของดิฟฟิวเซอร์ (θ) และระยะห่างของปลายยอดปีกสามเหลี่ยมจากพื้นประมาณเท่ากับครึ่งหนึ่งของความหนา 95% ของชั้นขอบเขต ($\delta/2$)

ตารางที่ ก.1 ขนาดของปีกสามเหลี่ยมที่ใช้ในการทดลอง

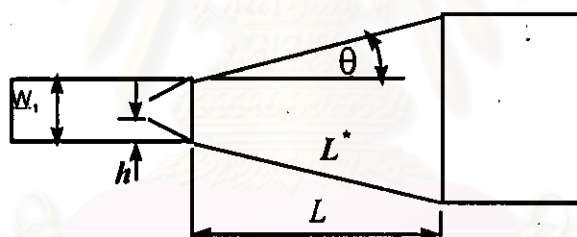
Series	α (deg)	h/δ	c (in)	d (in)	A_w (in ²)
D0-0 (w/o VG)	-	-	-	-	-
D5-0.5	5	0.5	3.6	1.9	3.5
D10-0.5	10	0.5	1.8	1	0.9
D10-1		1	3.6	1.9	3.5
D10-1.5		1.5	5.4	2.9	7.8
D20-0.5	20	0.5	0.9	0.4	0.2
D20-1		1	1.8	1	0.9
D20-1.5		1.5	2.8	1.4	2.0

ตารางที่ ก.2 สมรรถนะของดีฟิวเซอร์ที่ติดตั้งเทกซ์เจอร์เรเตอร์
แบบต่างๆ

Series	C_p	K	K_u	D_{min}	D_{max}	ΔD
D0-0	0.39	0.18	0.41	-0.41	0.64	1.05
D5-0.5	0.43	0.21	0.37	-0.29	0.49	0.78
D10-0.5	0.47	0.17	0.33	-0.31	0.52	0.83
D10-1	0.42	0.27	0.38	-0.25	0.57	0.82
D10-1.5	0.44	0.34	0.36	-0.22	0.49	0.71
D20-0.5	0.34	0.26	0.46	-0.40	0.67	1.07
D20-1	0.40	0.30	0.40	-0.27	0.57	0.84
D20-1.5	0.39	0.32	0.41	-0.13	0.36	0.49



รูปที่ ก.1 อุโมงค์ลมและอุปกรณ์การทดลองในการศึกษาเบื้องต้น

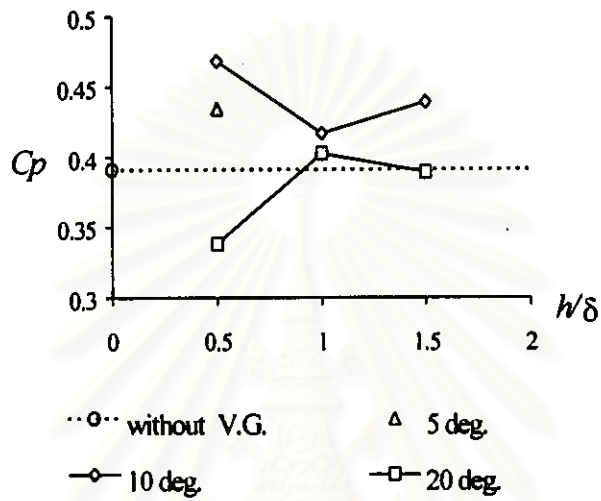


(ก)

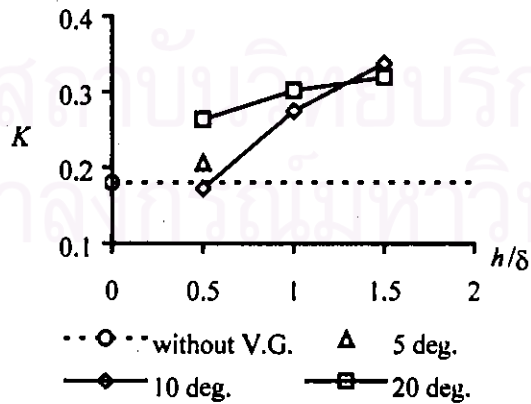


(ข)

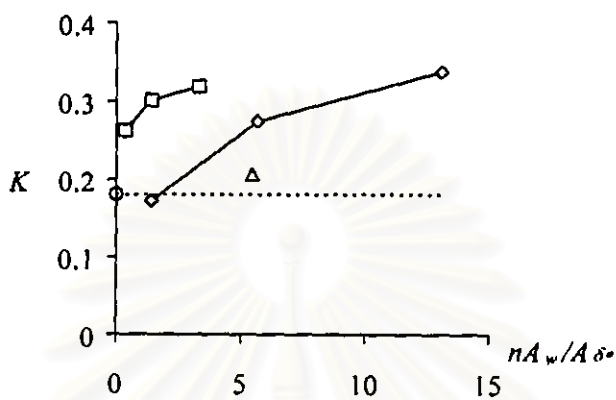
รูปที่ ก.2 การติดตั้งปีกสามเหลี่ยมในดีฟฟิวเซอร์; (ก) ภาพด้านบน, (ข) ภาพด้านข้าง



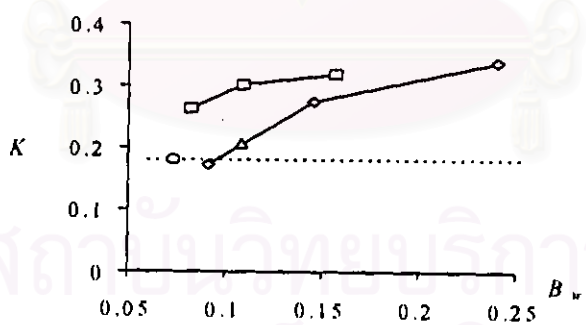
รูปที่ ก.3 ผลของค่า α และ h/d ต่อค่าสัมประสิทธิ์ความดันเพิ่ม



รูปที่ ก.4 ผลของ α และ h/d ต่อ total-pressure loss coefficient

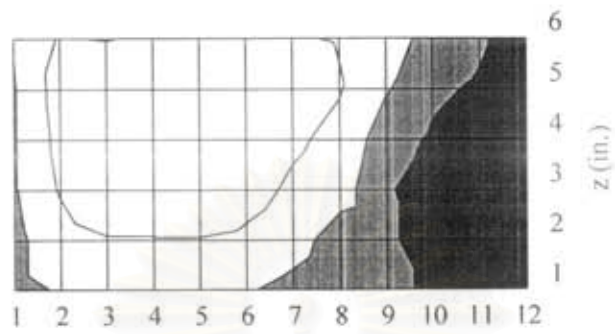


รูปที่ ก.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง K และพื้นที่ของปีกสามเหลี่ยม



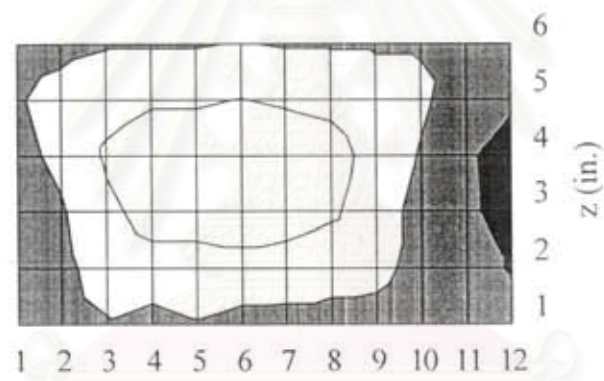
(b)
 ○ without V.G. △ 5 deg.
 ◇ 10 deg. □ 20 deg.

รูปที่ ก.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง K กับ B_w



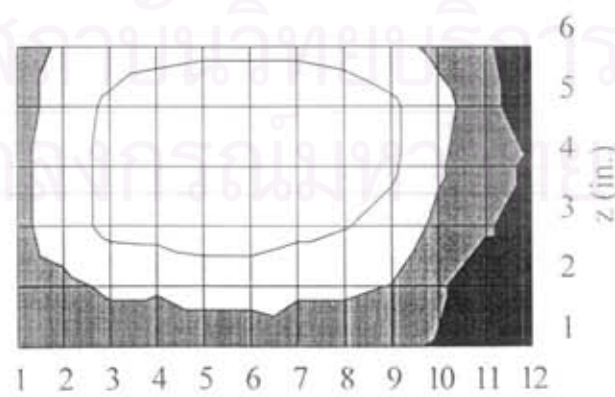
y (in.)

(a)



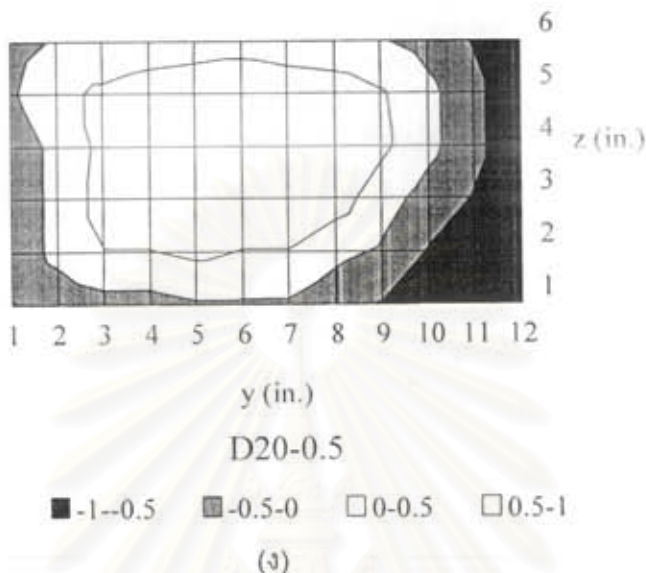
y (in.)

(b)

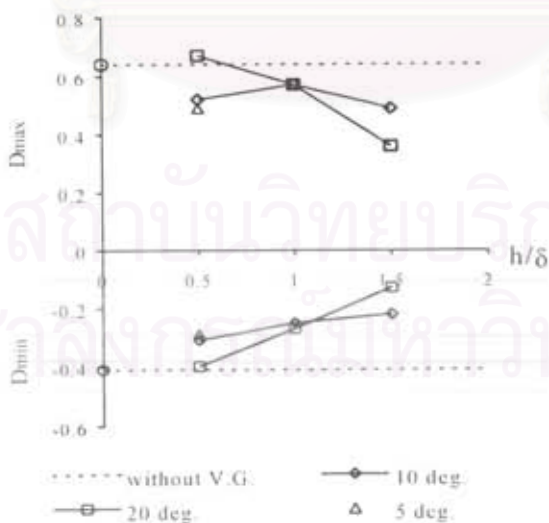


y (in.)

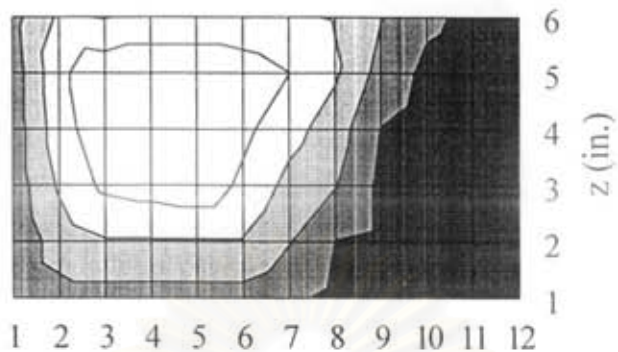
(c)



รูปที่ ก.7 (ต่อ) การกระจายของเทอมไร้มิติของความเร็วที่หน้าตัดทางออก; (ก) D0-0, (ข) D5-0.5, (ค) D10-0.5, (ง) D20-0.5

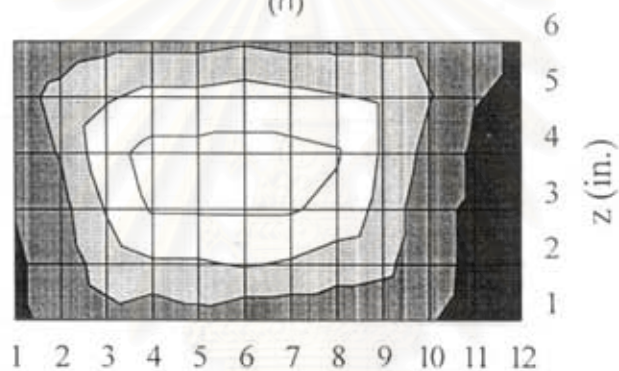


รูปที่ ก.8 กราฟแสดงค่า D_{max} และ D_{min} ของทุกกรณีการทดลอง



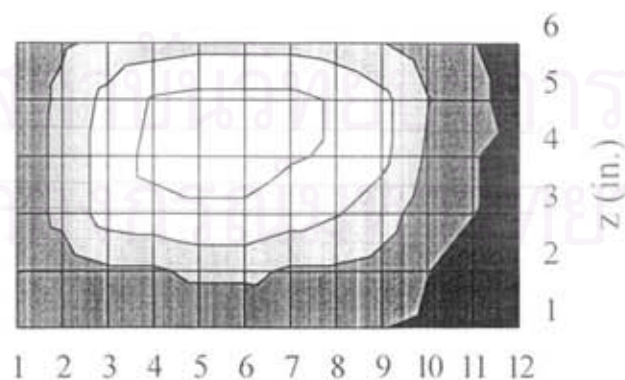
y (in.)

(a)



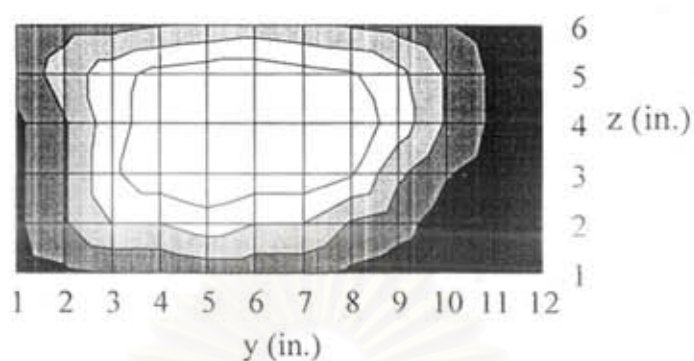
y (in.)

(b)

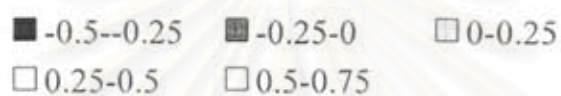


y (in.)

(c)



D20-0.5



(ง)

รูปที่ ก.8 การกระจายของเทอมไร้มิติของความดันรวมที่หน้าตัดทางออก;
(ก) D0-0, (ข) D5-0.5, (ค) D10-0.5, (ง) D20-0.5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

การปรับปรุงอุโมงค์ลม

การสร้างอุโมงค์ลมจะต้องทำให้การไหลที่ทางออกของดีฟฟิวเซอร์มีการกระจายตัวของความดันรวมสม่ำเสมอมากที่สุด วิธีการที่นิยมใช้คือติดตั้งสกรีนในดีฟฟิวเซอร์ โดยที่อุโมงค์ลมขนาด 60x18 ซม.² ในห้องปฏิบัติการวิจัยกลศาสตร์ของไหลก็ใช้วิธีการนี้เช่นกัน Sathapornnanon et al. (1999) ได้ทำการทดลองหาจำนวนสกรีนที่เหมาะสมเพื่อทำให้การกระจายตัวของความดันรวมที่ทางออกดีฟฟิวเซอร์ดีที่สุด ซึ่งจากการทดลองนั้นพบว่าการใช้สกรีน mesh 8 จำนวน 4 แผ่น ติดตั้งในดีฟฟิวเซอร์จะทำให้การกระจายตัวของความดันรวมมีความสม่ำเสมอที่สุด โดยการติดตั้งที่ตำแหน่งของสกรีนที่ 1, 2, 3, และ 4 แต่ในการทดลองนั้นได้ทำการติดตั้งสกรีนในการทดลองเพิ่มทีละ 1 แผ่น โดยเรียงลำดับการติดตั้งจากตำแหน่งทางเข้าดีฟฟิวเซอร์ทีละตำแหน่งจนครบทั้ง 5 แผ่น ดังนั้นอาจทำให้จำนวนสกรีนที่เลือกใช้มากเกินไป

ดังนั้นการศึกษานี้จะทำการหาจำนวนสกรีนที่เหมาะสมเพื่อลดการไหลแยกตัวออกจากผนัง และเพิ่มความสม่ำเสมอของการกระจายความดันรวมที่ทางออกดีฟฟิวเซอร์ แต่อย่างไรก็ตาม ตำแหน่งที่สามารถติดสกรีนในดีฟฟิวเซอร์ได้จะมีเพียงแค่ 5 ตำแหน่ง (สามารถอ่านละเอียดจาก Sathapornnanon et al.) ดังนั้นจะทำให้การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งการติดสกรีนในการทดลองมีจำกัด

การศึกษาจะเริ่มจากติดตั้งสกรีน mesh 8 แผ่นแรกในดีฟฟิวเซอร์ (เช่นเดียวกับกับสกรีนแผ่นแรกของ Sathapornnanon et al., 1999) แล้วใช้ tuft ที่ทำจากไหมโคเซเบอร์ 5 ติดกับปลายด้ามพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มม. ยื่นไปที่บริเวณผนังของดีฟฟิวเซอร์ แล้วไล่จากตำแหน่งหลังสกรีนแผ่นแรกมาจนถึงทางออกของดีฟฟิวเซอร์ ถ้าเกิดการไหลแยกตัวออกจากผนัง เส้นไหมพรมจะแกว่งไปมาไม่อยู่กับที่ ทำให้ทราบตำแหน่งที่จะติดสกรีนแผ่นต่อมาได้ เพราะว่าควร จะทำการติดสกรีน ณ ตำแหน่งก่อนที่จะเกิดการไหลแยกตัวออกจากผนัง

จากการทดลองพบว่าการไหลแยกตัวออกจากผนังจะอยู่ในช่วงระหว่างระยะ 40 ซม. ถึง 75 ซม. วัดจากทางเข้าดีฟฟิวเซอร์ (เนื่องจากการใช้ tuft เป็นการตรวจสอบอย่างหยาบทำให้ไม่สามารถบอกตำแหน่งที่แน่นอนได้) ซึ่งจะเป็นช่วงระหว่างสกรีนตำแหน่งที่ 2 ถึงสกรีนตำแหน่งที่ 3 ผู้ทดลอง จึงลองติดสกรีนแผ่นที่ 2 ที่ตำแหน่งที่ 3 ก่อนแล้วใช้ tuft ตรวจสอบตำแหน่งการไหลแยกตัวออกจากผนังอีกที พบว่าจะเกิดการไหลแยกตัวออกจากผนังตั้งแต่ด้านหลังของสกรีนตำแหน่งที่ 3 ทั้งนี้ ทำ

ให้ทราบว่าตำแหน่งของการเกิดการไหลแยกตัวออกจากผนังอยู่ก่อนตำแหน่งสกรินแผ่นที่ 3 ดังนั้นจึงเปลี่ยนมาติดสกรินแผ่นที่ 2 ที่ตำแหน่งสกรินที่ 2 แทน

หลังจากนั้นจึงเลือกที่จะติดสกรินแผ่นที่ 3 ที่ตำแหน่งใด ระหว่างตำแหน่งสกรินที่ 3, 4 หรือ 5 แต่การติดที่ตำแหน่งสกรินที่ 5 จะทำให้การไหลที่ผนังทางออกของดิวไฟวเซอร์มีลักษณะเป็นเจตซึ่งจะไม่เหมาะสมเมื่อนำไปใช้ในอุโมงค์ลม

ผู้ทดลองจึงเลือกทำการติดสกรินแผ่นที่ 3 ระหว่างตำแหน่งสกรินที่ 3 หรือ 4 ซึ่ง Sathapornnanon et al. ทำการทดลองกรณีติดสกรินที่ตำแหน่งสกรินที่ 1, 2 และ 3 ไปแล้ว ดังนั้นจึงทำการติดสกรินที่ตำแหน่งสกรินที่ 4 และใช้ tuft ตรวจสอบลักษณะการไหลที่ทางออกของดิวไฟวเซอร์ พบว่าการไหลค่อนข้างจะสม่ำเสมอและไม่มีอาการสะดุดของ tuft จึงได้วัดค่าสัมประสิทธิ์การฟื้นความดันสถิต (C_p), สัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันรวม (K) และดัชนีความเบี่ยงเบนความดันรวม (D) และการกระจายความดันรวมที่ทางออกดิวไฟวเซอร์ โดยใช้เทคนิคการวัดเหมือนกับ Sathapornnanon et al. ซึ่งได้ผลดังกราฟที่ ข.1

จากกราฟเป็นการแสดงการกระจายความดันรวมที่ทางออกของดิวไฟวเซอร์โดยคำนวณจากสมการ

$$C_{pr} = \frac{P - \hat{P}}{\hat{P}} \quad (\text{ข.1})$$

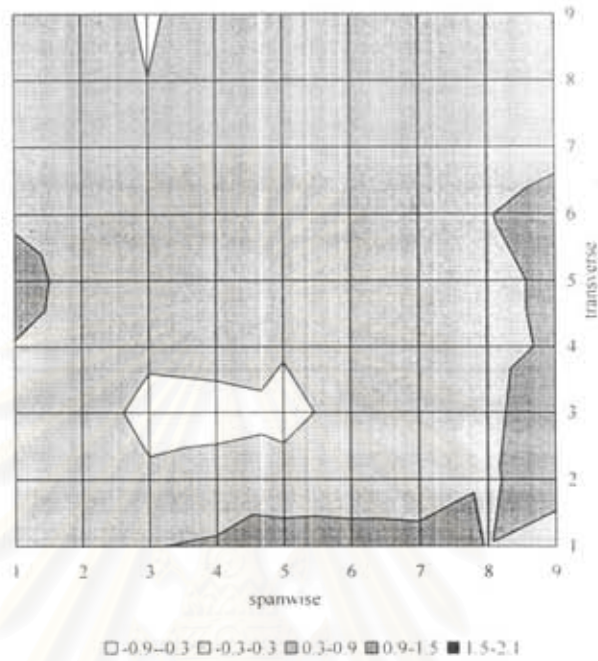
โดยที่ C_{pr} เป็นค่าความแตกต่างความดันรวมจากค่าเฉลี่ยทั้งหน้าตัดโดยอยู่ในรูปเทอมไร้มิติ

P เป็นค่าความดันรวม ณ ตำแหน่งใดๆที่ทางออกของดิวไฟวเซอร์

\hat{P} เป็นค่าเฉลี่ยแบบพื้นที่ของความดันรวมทั้งหน้าตัดทางออกของดิวไฟวเซอร์

จากผลการทดลองพบว่า การกระจายตัวของความดันรวมค่อนข้างสม่ำเสมอ ในบริเวณส่วนใหญ่จะมีค่าความดันรวมแตกต่างจากค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง -0.3 ถึง 0.3 และมีบริเวณที่ความดันรวมต่ำซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง -0.9 ถึง -0.3 อยู่เยื้องไปทางด้านล่างและบริเวณที่มีความดันสูงกว่าค่าเฉลี่ยอยู่ที่มุมล่างขวามือ โดยค่าสัมประสิทธิ์ทั้งหมดอยู่ในตารางที่ ข.1

ดังนั้นสามารถสรุปว่า การติดตั้งสกริน mesh 8 ที่ตำแหน่งสกรินที่ 1, 2 และ 4 ทำให้ลักษณะการกระจายตัวของความดันรวมดีเท่าๆกับการติดสกรินที่ตำแหน่ง 1, 2, 3 และ 4 ส่วนค่า C_p มีค่ามากกว่าการติดสกรินที่ตำแหน่ง 1, 2, 3, และ 4 ประมาณ 25% และค่า K มีค่าเท่าๆกัน ดังนั้นการใช้สกริน mesh 8 ติดในดิวไฟวเซอร์ของอุโมงค์ลมที่ตำแหน่ง 1, 2 และ 4 จึงเหมาะสมกว่าการใช้ 4 สกรินที่ตำแหน่ง 1, 2, 3 และ 4



รูปที่ ข.1 การกระจายความดันรวมที่ทางออกของดิวไฟเซอร์เมื่อติดสกรีนที่ตำแหน่งที่ 1, 2 และ 4

Distortion Index (D_{max} / D_{min})	Static pressure recovery coefficient (C_p)	Total pressure loss coefficient (K)
0.23/0.44	0.15	0.8

ตารางที่ ข.1 ตารางแสดงสมรรถนะของดิวไฟเซอร์เมื่อติดตั้งสกรีน mesh 8 ที่ตำแหน่ง 1, 2 และ 4

ภาคผนวก ค

การคำนวณค่าความไม่แน่นอน

การวัดความดันในการทดลองนี้ใช้ pressure transducer รุ่น 750D-212 Autotran incorporated ที่สามารถอ่านค่าความดันได้ในช่วง ± 0.5 นิ้วน้ำ โดยมีค่าความดันออก 1-10 โวลต์ ความผิดพลาดเท่ากับ ± 0.25 % หรืออ่านค่าความดันผิดพลาด 0.62 Pa ดังนั้นค่าที่แสดงไว้ในกราฟจึงมีความผิดพลาดดังนี้

1. การคำนวณค่า uncertainty ของการกระจายความดันรวม C_{PT}

จากสมการ $C_{PT} = \frac{P_T - \hat{P}_T}{q_1}$ และ $q_1 = 110.2$ Pa ทุกการทดลอง

กำหนดให้ความผิดพลาด $w_{q_1} = 1.24$ Pa เป็น 2 เท่าของ accuracy เนื่องจากทำการวัดเพียงจุดเดียว

และ $w_{\hat{P}_T} = 1.5$ Pa เพราะ probe มีการสั่นขณะทำการวัด

จากสมการ

$$w_{C_{PT}} = \sqrt{\left(\frac{\partial C_{PT}}{\partial P_T} w_{P_T}\right)^2 + \left(\frac{\partial C_{PT}}{\partial \hat{P}_T} w_{\hat{P}_T}\right)^2 + \left(\frac{\partial C_{PT}}{\partial q_1} w_{q_1}\right)^2}$$

$$w_{C_{PT}} = \sqrt{\left(\frac{w_{PT}}{q_1}\right)^2 + \left(-\frac{w_{\hat{P}_T}}{q_1}\right)^2 + \left(\frac{-w_{q_1}(P_T - \hat{P}_T)}{q_1^2}\right)_{\max}^2}$$

ตัวอย่างการคำนวณกรณีตีฟิวเซอร์ที่มีการไหลแบบ Jet ซึ่งมีค่า

$$\left(\frac{P_T - \hat{P}_T}{q_1}\right)_{\max} = 0.64$$

แทนค่า

$$w_{C_{PT}} = \sqrt{\left(\frac{1.5}{110.2}\right)^2 + \left(\frac{1.5}{110.2}\right)^2 + \left(\frac{(1.24)(0.64)}{110.2}\right)^2}$$

ดังนั้น $w_{C_p} = 0.03$

2. การคำนวณค่า uncertainty ของ C_p

จากสมการ $C_p = \frac{\tilde{P}_2 - \tilde{P}_1}{q_1}$ และ $q_1 = 110.2$ Pa ทุกการทดลอง

กำหนดให้ความผิดพลาด $w_{q_1} = 1.24$ Pa

$w_{\tilde{P}_2} = 0.62$ Pa

และ $w_{\tilde{P}_1} = 0.62$ Pa

จากสมการ

$$w_{C_p} = \sqrt{\left(\frac{w_{\tilde{P}_2}}{q_1}\right)^2 + \left(-\frac{w_{\tilde{P}_1}}{q_1}\right)^2 + \left(-\frac{(\tilde{P}_2 - \tilde{P}_1) w_{q_1}}{q_1^2}\right)^2}$$

ตัวอย่างการคำนวณกรณีตีฟิวเซอร์ที่มีการไหลแบบ Jet ซึ่งมีค่า

$$\frac{\tilde{P}_2 - \tilde{P}_1}{q_1} = -0.0162$$

แทนค่า $w_{C_p} = \sqrt{\left(\frac{0.62}{110.2}\right)^2 + \left(-\frac{0.62}{110.2}\right)^2 + \left(\frac{-(-0.0162)(1.24)}{110.2}\right)^2}$

ดังนั้น $w_{C_p} = 0.008$ หรือประมาณ 0.01

3. การคำนวณค่า uncertainty ของ K

จากสมการ $K = \frac{\hat{P}_{T1} - \hat{P}_{T2}}{q_1}$ และ $q_1 = 110.2$ Pa ทุกการทดลอง

เนื่องจากในการทดลองมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจาก probe สั้น ทำให้การอ่านค่าความดันรวมผิดพลาดประมาณ ± 1.5 Pa และเพื่อความสะดวกจึงกำหนดให้ความผิดพลาดของค่าความดันอื่นๆ มีค่ามากถึง ± 1.5 Pa เช่นกัน

กำหนดให้ความผิดพลาด $w_{q_1} = 1.5$ Pa

$$w_{\hat{p}_{T2}} = 1.5$$
 Pa

และ $w_{\hat{p}_{T1}} = 1.5$ Pa

จากสมการ

$$w_K = \sqrt{\left(\frac{w_{\hat{p}_{T2}}}{q_1}\right)^2 + \left(-\frac{w_{\hat{p}_{T1}}}{q_1}\right)^2 + \left(-\frac{\hat{p}_{02} - \hat{p}_{01}}{q_1^2}\right)w_q\right)^2}$$

ตัวอย่างการคำนวณกรณีตีฟิวเซอร์ที่มีการไหลแบบ Jet ซึ่งมีค่า

$$\frac{\hat{p}_{02} - \hat{p}_{01}}{q_1} = 0.6877$$

แทนค่า $w_K = \sqrt{\left(\frac{1.5}{110.2}\right)^2 + \left(\frac{1.5}{110.2}\right)^2 + \left(\frac{0.6877}{110.2}\right)(1.5)}^2$

ดังนั้น $w_K = 0.02$

4. การคำนวณค่า uncertainty ของ D

จากสมการ $D = \frac{\hat{P}_T|_{8.58} - \hat{P}_{T2}}{\hat{P}_{T2}}$

กำหนดให้ความผิดพลาด $w_{\hat{P}_T|_{8.58}} = 0.62$ Pa

ที่กำหนดให้มิต้าน้อยกว่ากรณีอื่นเนื่องจากการหาค่าเฉลี่ยดังนั้นก็มีความคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือวัดมากกว่า probe สั้นมาก

และ $w_{\hat{p}_{T2}} = 0.62 \text{ Pa}$

จากสมการ

$$w_D = \sqrt{\left(\frac{w_{\hat{p}_{T2}}|_{\text{max}}}{\hat{P}_{T2}}\right)^2 + \left(-\frac{\hat{P}_{T2}|_{\text{max}}}{\hat{P}_{T2}^2}(w_{\hat{p}_{T2}})\right)^2}$$

$$w_D = \sqrt{\left(\frac{w_{\hat{p}_{T2}}|_{\text{max}}}{\hat{P}_{T2}}\right)^2 + \left(-\frac{(D+1)}{\hat{P}_{T2}}(w_{\hat{p}_{T2}})\right)^2}$$

ตัวอย่างการคำนวณกรณีตีฟิวเซอร์ที่มีการไหลแบบ Jet ซึ่งมีค่า

$$\hat{P}_{T2} = 18.69 \text{ Pa}$$

$$D_{\text{max}} = 1.786$$

$$D_{\text{min}} = -1.3424$$

แทนค่า $w_{D_{\text{max}}} = \sqrt{\left(\frac{0.62}{18.69}\right)^2 + \left(\frac{(1.786+1)(0.62)}{18.69}\right)^2}$

และ $w_{D_{\text{min}}} = \sqrt{\left(\frac{0.62}{18.69}\right)^2 + \left(\frac{(-1.3424+1)(0.62)}{18.69}\right)^2}$

ดังนั้น $w_{D_{\text{max}}} = 0.098$

และ $w_{D_{\text{min}}} = 0.035$

5. การคำนวณค่า uncertainty ของ C_{Pw}

จากสมการ $C_{Pw} = \frac{P - P_{ref}}{q_1}$ และ $q_1 = 110.2 \text{ Pa}$ ทุกการทดลอง

กำหนดให้ความผิดพลาด $w_{P-P_{ref}} = 0.62 \text{ Pa}$

และ

$$w_{q_1} = 1.24 \text{ Pa}$$

จากสมการ

$$w_{C_{pr}} = \sqrt{\left(\frac{w_{p'-p_{ref}}}{q_1}\right)^2 + \left(\frac{(P_{ref} - P)w_{q_1}}{q_1^2}\right)^2}$$

ตัวอย่างการคำนวณกรณีดีฟิวเซอร์ที่มีการไหลแบบ Jet ซึ่งมีค่า

$$P_{ref} - P = 0.2$$

แทนค่า

$$w_{C_{pr}} = \sqrt{\left(\frac{0.62}{110.2}\right)^2 + \left(\frac{0.2(1.24)}{110.2}\right)^2}$$

ดังนั้น

$$w_{C_{pr}} = 0.01$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

การคำนวณความดันสถิตบนผนังดิวเซอร์แบบอุดมคติ

จากรูปที่ 5.2 โดยมีสมมติฐานของการไหลว่าเป็น inviscid flow ทำให้สามารถเขียน สมการเบอร์นูลีได้เป็น

$$P_{ref} + 1/2 \rho U_{ref}^2 = P + 1/2 \rho U^2 \quad (จ.1)$$

และจากสมการของสัมประสิทธิ์การกระจายความดันสถิตตามสมการที่ 3.5.6

$$C_{pw} = \frac{P - P_{ref}}{1/2 \rho U_{ref}^2} \quad (จ.2)$$

ดังนั้นแทนค่าจากสมการ (จ.1) ลงในสมการ (จ.2) จะได้

$$C_{pw} = 1 - (U/U_{ref})^2 = 1 - (A_{ref}/A)^2 \quad (จ.3)$$

ถ้าสมมติให้การไหลในแบบจำลองดิวเซอร์มีการเพิ่มของขนาดพื้นที่การไหล (A_{eff}) เป็นเชิงเส้นตามรูปที่ ง.1 โดยในรูปแสดงเพียงหน้าตัดครึ่งบนของดิวเซอร์ ดังนั้นสามารถเขียนสมการของการเปลี่ยนแปลง A_{eff} เป็น

$$A = A_{ref} + 2x b_1 x (X^* \sin \theta)$$

$$A = A_{ref} + 2x b_1 x X^* x (W_2/2 - W_1/2) / L_{max} \quad (จ.4)$$

เมื่อ b_1 เป็นความยาวของทางเข้าดิวเซอร์ในแนว spanwise

W_1 เป็นความกว้างของทางเข้าดิวเซอร์

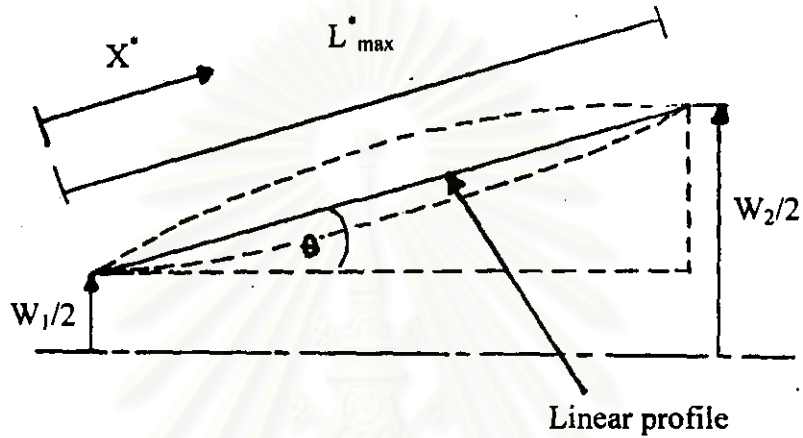
W_2 เป็นความกว้างของทางออกของดิวเซอร์

ดังนั้นการกระจายความดันบนผนังของดิวเซอร์จึงเขียนได้เป็น

$$C_{pw} = 1 - (A_{ref} / (A_{ref} + b_1 x X^* x (W_2 - W_1) / L_{max}))^2 \quad (จ.5)$$

หรือ

$$C_{pw}/C_{pi} = (1 - (A_{ref}/(A_{ref} + b_1 x X^* x (W_2 - W_1)/L_{max})))^2 / (1 - 1/AR^2)$$



รูปที่ 3.1 การเพิ่มพื้นที่หน้าตัดของดิฟฟูเซอร์ (A_{ref}) เป็นเชิงเส้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน



นาย อลงกรณ์ พิมพ์พิน เกิดวันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2520 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จ
การศึกษาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2539 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2540



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย