บทที่ 2

ชุดทดลองและการทดลอง

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิด้านท้ายของเจ็ตร้อนสองลำแบบเรียงแถวในท่อที่มีการไหลแบบหมุนควง ซึ่งการศึกษาจะศึกษาถึงผลของจำนวนเจ็ต ระยะห่างระหว่างเจ็ต และการไหลแบบหมุนควงของกระแสลมขวางที่มีต่อคุณลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิ และการผสมของเจ็ตในท่อ สำหรับความเร็วในการหมุนควงแสดงค่าด้วย Swirl ratio (Sr) ที่อัตราส่วนความเร็ว (r_{eff}) อัตราส่วนความหนาแน่น (r_ρ) และอัตราส่วนโดยมวลของกระแสลมขวางต่ออัตราส่วนโดยมวลของเจ็ตคงที่ ซึ่งการทดลองให้ความร้อนกับเจ็ตอากาศจนมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิของกระแสลมขวางประมาณ 60 องศาเซลเซียส และวัดอุณหภูมิเป็นหน้าตัดตามแนว Downstream (x) เพื่อพิจารณาคุณลักษณะการกระจายตัวของเจ็ต โดยมีรายละเอียดของชุดทดลองและการทดลองดังนี้

2.1 ชุดทดลอง

ชุดทดลองในงานวิจัยนี้ตั้งอยู่ที่ห้องปฏิบัติการวิจัยกลศาสตร์ของไหล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยชุดทดลองประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ชุดทดลองการไหลที่หน้าตัดทดสอบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (D) 74 มิลลิเมตร และชุดเจ็ตที่สามารถปรับเปลี่ยนขนาดได้โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (d) 20.7, 14.6, 14.6 และ 9.8 มิลลิเมตร

2.1.1 ชุดทดลองการไหล

ชุดทดลองการไหลที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีหน้าที่สร้างกระแสลมขวาง โดยแสดงเป็นลักษณะ Schematic ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญคือ พัดลมแบบหอยโข่ง (Centrifugal Blower) ขนาด 1.5 กิโลวัตต์ ท่ออ่อน (Flexible duct) ห้องจัดปรับการไหล (Settling chamber) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 72 มิลลิเมตร ชุดท่อหมุน (Rotating pipe) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 72 มิลลิเมตร และหน้าตัดทดสอบ (Test section) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (D) 74 มิลลิเมตร

การทำงานของชุดทดลองการไหลเริ่มจากอากาศจะถูกดูดจากบรรยากาศของห้องผ่านพัดลมแบบหอยโข่ง (Centrifugal Blower) ขนาด 1.5 กิโลวัตต์ ดังรูปที่ 2.2 จากนั้นอากาศจะไหล

ผ่านท่ออ่อน (Flexible duct) ซึ่งทำหน้าที่ลดผลของแรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากพัดลมออกจากส่วนอื่นๆของชุดทดลองการไหล

หลังจากนั้นอากาศจะไหลไปสู่ห้องจัดปรับการไหล (Settling chamber) ดังรูปที่ 2.3 ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 72 มิลลิเมตร ยาว 1700 มิลลิเมตร ซึ่งประกอบด้วยวาล์วซึ่งทำหน้าที่ปรับปริมาณการไหล แผ่นเหล็กเจาะรู (Perforate plate) ที่มีขนาดรู (มิลลิเมตร) × ระยะระหว่างรู เท่ากับ 10 × 12 มีอัตราส่วนช่องเปิด 45 % จำนวน 1 แผ่น ตาข่ายอลูมิเนียม (Screen) ขนาด Mesh 16 จำนวน 2 แผ่น โดยแผ่นแรกวางห่างจากแผ่นเหล็กเจาะรูประมาณ 150 มิลลิเมตร และแผ่นที่สองวางห่างจากแผ่นแรกประมาณ 150 มิลลิเมตร ถัดไปเป็น Honeycomb ที่ทำจากหลอดพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ยาว 150 มิลลิเมตร วางเรียงอยู่เต็มหน้าตัดการไหล โดยวางห่างจากตาข่ายอลูมิเนียมแผ่นที่สองประมาณ 75 มิลลิเมตร ถัดจาก Honeycomb จะมีตาข่ายอลูมิเนียมขนาด Mesh 16 จำนวน 2 แผ่น และตาข่ายอลูมิเนียมขนาด Mesh 30 จำนวน 1 แผ่น โดยแต่ละแผ่นวางห่างกันประมาณ 75 มิลลิเมตร ทั้งนี้เพื่อปรับทิศทางการไหลและทำให้อากาศมีความเร็วสม่ำเสมอตลอดทั้งหน้าตัด จากนั้นอากาศจะไหลผ่านเข้าไปยังส่วนท่อหมุน (Rotating pipe) ดังรูปที่ 2.4 ท่อหมุนทำขึ้นจากเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 74 มิลลิเมตร ยาว 888 มิลลิเมตร หรือยาวเป็น 12 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ ซึ่งความยาวท่อที่ใช้คิดเป็นจำนวนรอบของการหมุนวนในกรณีการไหลที่กระแสลมขวางมีการไหลแบบหมุนควง (*S18*) ได้ 6.9 รอบ ด้านปลายทั้งสองของท่อสวมอยู่กับตลับลูกปืนชนิดลูกบอลร่องลึก (Deep Groove Ball Bearing) ของ SKF รุ่น 6017-2Z ขนาดรูสวม 85 มิลลิเมตร กึ่งกลางท่อหมุนติดกับ Pulley สายพานแบบวี (V-Belt Pulley) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 136 มิลลิเมตร ในการสร้างการไหลแบบหมุนวนท่อหมุนจะถูกขับให้หมุนด้วยสายพานโดยต่อเข้ากับ Pulley ที่เพลาของมอเตอร์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง Pulley 242 มิลลิเมตรและมีอัตราทดความเร็วรอบมอเตอร์ต่อความเร็วรอบท่อหมุนเท่ากับ 1:1.8

มอเตอร์ที่ใช้เป็นของ Compton Graves MODEL AD90S ขนาด 1.5 กิโลวัตต์ มีความเร็วรอบ 2830 rpm. ที่ความถี่ไฟฟ้า 50 Hz. และปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ด้วยการต่อเข้ากับ Inverter (T-VERTER MODEL N1-202-M) ขนาด 1.5 กิโลวัตต์ รายละเอียดของการต่อมอเตอร์และ Inverter แสดงในรูปที่ 2.5

ภายในท่อหมุนได้ทำการติดตั้ง Honeycomb และตาข่ายอลูมิเนียมเพื่อใช้ปรับสภาวะการไหลที่ออกจากท่อหมุนให้มีลักษณะการกระจายตัวความเร็วในแนวสัมผัสเป็น Solid Body Rotation และมีการจายตัวความเร็วตามแนวแกนที่สม่ำเสมอ (รายละเอียดการติดตั้ง Honeycomb และตาข่ายอลูมิเนียมแสดงตามภาคผนวก ฉ) สำหรับกรณีการทดลองที่กระแสลมขวางไม่มีการไหลแบบหมุนควง (*S0*) ชุด Honeycomb ทำขึ้นจากหลอดพลาสติกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 6 มิลลิเมตร ยาว 150 มิลลิเมตร บรรจุอยู่ในท่อ PVC หนา 2 มิลลิเมตร ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์

กลางภายนอกเท่ากับขนาดรูในท่อหมุน และมีความยาวเท่ากับหลอดพลาสติก ภายในท่อหมุนได้ติดตั้ง Honeycomb โดยมีตาข่ายอลูมิเนียมขนาด Mesh 16 ปิดไว้ที่ด้านหัวและท้าย ภายในท่อหมุนด้านท้าย Honeycomb ติดตาข่ายอลูมิเนียมขนาด Mesh 16 จำนวน 3 อัน โดยแต่ละอันวางห่างกันประมาณ 150 มิลลิเมตร (ประมาณ 2 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อหมุน)โดยตาข่ายอลูมิเนียมอันสุดท้ายวางห่างจากทางออกท่อหมุนประมาณ 150 มิลลิเมตร (ประมาณ 2 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อหมุน) และสำหรับกรณีการทดลองที่กระแสลมขวางมีการไหลแบบหมุนควง (*S18*) ชุด Honeycomb ทำขึ้นจากหลอดพลาสติกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 6 มิลลิเมตร ยาว 150 มิลลิเมตร บรรจุอยู่ในท่อ PVC หนา 2 มิลลิเมตร ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับขนาดรูในท่อหมุน และมีความยาวเท่ากับหลอดพลาสติก ภายในท่อหมุนได้ติดตั้ง Honeycomb ไว้เพื่อใช้บังคับการไหลให้หมุนไปตามการหมุนของท่อ โดย Honeycomb โดยมีตาข่ายอลูมิเนียมขนาด Mesh 16 และตาข่ายอลูมิเนียมขนาด Mesh 16 ที่ตัดบริเวณตรงกลางออกเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 25 มิลลิเมตร (Partial Screen) เพื่อเพิ่ม Pressure Loss บริเวณขอบท่อ ปิดไว้ที่ด้านหัวและท้าย ภายในท่อหมุนด้านท้าย Honeycomb ติดตาข่ายอลูมิเนียมขนาด Mesh 16 จำนวน 4 อัน โดยแต่ละอันวางห่างกันประมาณ 112 มิลลิเมตร (ประมาณ 1.5 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อหมุน) และที่ตาข่ายอลูมิเนียมขนาด Mesh 16 ตัวแรกและตัวที่สองนับจาก Honeycomb ได้มีการติดตั้งตาข่ายสแตนเลสขนาด Mesh 30 ที่ตัดบริเวณตรงกลางเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 25 มิลลิเมตร (Partial Screen) เพื่อเพิ่ม Pressure Loss บริเวณขอบท่อ โดยมีตาข่ายอลูมิเนียมอันสุดท้ายวางห่างจากทางออกท่อหมุนประมาณ 150 มิลลิเมตร (ประมาณ 2 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อหมุน) ทั้งนี้การติดตั้งชุด Honeycomb และ Screen ดังกล่าว เพื่อจัดปรับการไหลให้มีการกระจายตัวของความเร็วตามแนวแกนที่สม่ำเสมอ และการกระจายตัวความเร็วในแนวสัมผัสเป็น Solid Body Rotation โดยระยะทางจากตาข่ายอันสุดท้ายถึงปลายทางออกท่อหมุนเท่ากับ 290 มิลลิเมตร (ประมาณ 4 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อหมุน) รายละเอียดการติดตั้งชุดท่อหมุนแสดงในรูปที่ 2.6

หลังจากส่วนท่อหมุนจะเข้าส่วนหน้าตัดทดสอบ (Test section) สำหรับในส่วน Test section แสดงไว้ในรูปที่ 2.7 ทำจากท่ออะคลีลิคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (D) 74 มิลลิเมตร ยาว 2000 มิลลิเมตร โดยท่อมีความหนา 3 มิลลิเมตร โดยเจ็ต (ในกรณีเจ็ตสองตัวนับเจ็ตตัวแรกเป็นหลัก) จะติดตั้งที่บริเวณด้านล่างที่ระยะห่างจากปลายด้านที่ติดท่อหมุนประมาณ 56 มิลลิเมตร ($0.75D$) บริเวณด้านท้ายติดตั้ง Orifice เพื่อใช้เป็น Monitor flow ในการประกอบชุดท่อหมุน (ส่วนที่มีการเคลื่อนที่) กับหน้าตัดทดสอบ (ส่วนหยุดนิ่ง) ใช้ Coupling สวมโดยให้มีระยะ Tolerance ประมาณ 1 มิลลิเมตร รูปการประกอบ Test section กับชุดท่อหมุน แสดงไว้ในรูปที่ 2.8 สำหรับระยะที่ใช้ทำการทดลองจริงมีระยะไม่เกิน 500 มิลลิเมตร แต่ใช้ท่อที่มีความยาวถึง

2000 มิลลิเมตร เนื่องจากป้องกันผลของบรรยากาศภายนอกที่บริเวณปลายทางออกที่อาจมีผลต่อการวัด

2.1.2 ชุดเจ็ต

ชุดเจ็ตแสดงเป็นลักษณะ Schematic ดังรูปที่ 2.9 และรูปถ่ายดังรูปที่ 2.10 ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วนได้แก่ ส่วนพัดลม และ Orifice ส่วน Heating chamber และส่วนข้อลดท่อเจ็ต (Adapter)

ในส่วนพัดลมและ Orifice นี้เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมและตรวจสอบอัตราการไหลของเจ็ตซึ่งแสดงดังภาพถ่ายในรูปที่ 2.11 โดยอากาศจะถูกเป่าผ่านพัดลมแบบความดันสูง (High pressure blower) ขนาด 2.2 กิโลวัตต์ ผ่านท่ออ่อน (Flexible duct) เพื่อลดการสั่นสะเทือนจากพัดลมไปยังส่วนอื่นของชุดทดลอง ผ่านระบบท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว (Nominal size) โดยลมที่เป่าจะถูกแบ่งเป็นสองส่วนเข้าเจ็ตตัวที่หนึ่งและเจ็ตตัวที่สอง มีวาล์ว (Gate valve) ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของเจ็ตอากาศ ต่อจากนั้น อากาศในส่วนของเจ็ตแต่ละตัวจะไหลผ่าน Honeycomb ซึ่งทำจากหลอดพลาสติกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 6 มิลลิเมตร ยาว 90 มิลลิเมตร เรียงเต็มหน้าตัดของท่อ ประกบปลายทั้งสองด้วยตาข่ายอลูมิเนียม Mesh 16 หลังจาก Honeycomb ติดตาข่ายอลูมิเนียมขนาด Mesh 16 จำนวน 1 อัน วางห่างจาก Honeycomb ประมาณ 90 มิลลิเมตร เพื่อปรับทิศทางการไหลและทำให้อากาศมีความเร็วสม่ำเสมอผ่าน Orifice ซึ่งมีอัตราส่วนช่องเปิด (β) เท่ากับ 0.55 เพื่อใช้ตรวจสอบอัตราการไหลของเจ็ต

ในส่วน Heating chamber นั้นเป็นส่วนที่ให้ความร้อนกับเจ็ตอากาศแสดงดังรูปที่ 2.12 โดยมีลักษณะเป็นท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 44 มิลลิเมตร ยาว 320 มิลลิเมตร โดยมีทางเข้าเป็นหน้าแปลนลักษณะเดียวกับหน้าแปลน PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอก 140 มิลลิเมตร และเจาะรูเพื่อประกบกับหน้าแปลน PVC ภายใน Heating chamber ได้ติดตั้ง Heater แบบขดลวดสปริง ขนาด 1000 วัตต์ ซึ่งจะถูกควบคุมกำลังโดยการปรับแรงดันไฟฟ้าจากหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด Variac แบบ 1 เฟส ขนาด 0-300 V / 8 A โดยแรงดันไฟฟ้าที่ใช้จริงอยู่ระหว่าง 80 ถึง 120 Volt หม้อแปลงไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 2.13 นอกจากนี้ที่ผนังด้านนอกจะติดตั้งฉนวนเพื่อลดการสูญเสียความร้อนออกสู่ภายนอก

ในส่วนข้อลดท่อเจ็ต (Adapter) เป็นส่วนที่ใช้ในการเปลี่ยนขนาดของเจ็ตสำหรับกรณีการทดลองต่างๆ (ตามการคำนวณในภาคผนวก ข.) โดยมีลักษณะเป็นท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 44 มิลลิเมตร ที่ด้านปลายทำเป็นเกลียวเพื่อใส่ข้อลดขนาดต่างๆให้พอดีกับขนาดเจ็ตในแต่ละกรณีการทดลอง รูปที่ 2.14 แสดงการต่อระหว่างท่อเจ็ตกับส่วนหน้าตัดทดสอบ

2.2 พิกัดอ้างอิงที่ใช้ในการทดลอง

ในการศึกษาวิจัยนี้ได้กำหนดระบบแกน (Coordinate system) ที่ใช้อ้างอิงในการวัดดัง แสดงในรูปที่ 2.15 ประกอบไปด้วยพิกัด x, y และ z โดยกำหนดให้จุดกำเนิดอยู่ที่จุดศูนย์กลางท่อ บริเวณหน้าตัดตรงกึ่งกลางเจ็ต (เจ็ตตัวแรกในกรณีเจ็ตสองตัว) และให้แกน x มีทิศทางไปตามการ ไหลของกระแสลมขวาง y มีทิศทางไปที่ตำแหน่งมุม 0 องศา z มีทิศพุ่งขึ้น นอกจากนี้ยังได้นิยาม พิกัด x, r และ θ โดยมองจาก end view และให้มีจุดกำเนิดอยู่ตำแหน่งเดียวกัน โดย r เป็นระยะ ตามแนวรัศมี และ θ เป็นมุมที่ทำกับแกน y ซึ่งจะมีค่าเป็นบวกตามทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (ω) ซึ่ง ในการศึกษาวิจัยนี้ กระแสลมขวางในกรณีที่มีการหมุนควงก็มีทิศการหมุนทวนเข็มนาฬิกาเช่นกัน นอกจากนี้ยังได้แบ่งบริเวณต่างๆของท่อเป็น Quadrant ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.15

2.3 สภาวะการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาลักษณะการกระจายตัวของเจ็ตร้อนสองลำแบบเรียงแถวในท่อ โดย ได้ศึกษาผลกระทบของจำนวนเจ็ต ระยะห่างระหว่างเจ็ต และการไหลแบบหมุนควงของกระแสลม ขวางที่มีต่อคุณลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิ และการผสมของเจ็ตในท่อ สำหรับความเร็วใน การหมุนควงแสดงค่าด้วย Swirl ratio (Sr) ที่นิยามให้เป็นอัตราส่วนความเร็วในแนวสัมผัสที่ได้ จากการ Fit curve ดังที่นิยามในบทที่ 1 กับความเร็วเฉลี่ยในแนวแกน ($Sr = w_R / \overline{u_{cf}}$) โดยในการ ทดลอง ได้ทำการทดลองที่สภาวะต่างๆคือ จำนวนเจ็ตหนึ่งและสองตัว ระยะห่างระหว่างเจ็ตตัวแรก และตัวที่สองเท่ากับ 0.5 และ 1.0 $r_{eff}d$ และกระแสลมขวางไม่มีการหมุนควง ($Sr = 0$) และมีการ หมุนควง ($Sr = 1.8$) ที่อัตราส่วนความเร็วประสิทธิผลคงที่ที่ 6.0 ± 0.28 หรือมีความแตกต่างกัน ไม่เกิน 5 % ระหว่างกรณี และอัตราส่วนโดยมวลของกระแสลมขวางต่ออัตราส่วนโดยมวลของเจ็ต คงที่ที่ 2.55 ± 0.05 หรือมีความแตกต่างกันไม่เกิน 2 % ระหว่างกรณี

ในงานศึกษาวิจัยนี้ได้ทำการทดลองทั้งหมด 6 กรณี โดยแบ่งเป็นการทดลองในกรณีที่ กระแสลมขวางไม่มีการไหลแบบหมุนควง คือที่ค่า Swirl ratio เท่ากับ 0 ($S0$) ทั้งหมด 3 กรณี ประกอบด้วยกรณีเจ็ตหนึ่งตัว ($S0rd00$) กรณีเจ็ตสองตัวที่ระยะห่างระหว่างเจ็ตตัวที่หนึ่งและเจ็ต ตัวที่สองเท่ากับ $0.5r_{eff}d$ ($S0rd05$) และกรณีเจ็ตสองตัวที่ระยะห่างระหว่างเจ็ตตัวที่หนึ่งและเจ็ตตัว ที่สองเท่ากับ $1.0r_{eff}d$ ($S0rd10$) และการทดลองในกรณีที่กระแสลมขวางมีการไหลแบบหมุนควง คือที่ค่า Swirl ratio เท่ากับ 1.8 ($S18$) ทั้งหมด 3 กรณี ประกอบด้วยกรณีเจ็ตหนึ่งตัว ($S18rd00$) กรณีเจ็ตสองตัวที่ระยะห่างระหว่างเจ็ตตัวที่หนึ่งและเจ็ตตัวที่สองเท่ากับ $0.5r_{eff}d$ ($S18rd05$) และ กรณีเจ็ตสองตัวที่ระยะห่างระหว่างเจ็ตตัวที่หนึ่งและเจ็ตตัวที่สองเท่ากับ $1.0r_{eff}d$ ($S18rd10$) สำหรับในกรณีกระแสลมขวางมีการไหลแบบหมุนควงคิดเป็นค่า Swirl number (Sn) ดังที่นิยาม ตามบทที่ 1 เท่ากับ 0.85

สำหรับการทดลองได้ทำการพิจารณาพารามิเตอร์ต่างๆที่มีผลต่อคุณลักษณะการกระจายตัวของการไหลแบบเจ็ตร้อนสองลำในท่อที่มีการไหลแบบหมุนควงซึ่งประกอบด้วย อัตราส่วนความหนาแน่น (r_ρ) จำนวนเจ็ต (n) อัตราส่วนความเร็วประสิทธิผล (r_{eff}) อัตราส่วนโดยมวล ($r_{\dot{m}}$) Swirl ratio (Sr) ระยะห่างระหว่างเจ็ต (S) เรย์โนนัมเบอร์เจ็ต (Re_j) เรย์โนนัมเบอร์กระแสลมขวาง (Re_{cf}) (การคำนวณค่า Parameter ต่างๆในการทดลองแสดงการวิเคราะห์แบบตัวแปรไร้มิติในภาคผนวก ข และแสดงค่าในตาราง ข1) โดยที่การทดลองในทุกกรณีนั้น (*S0, S18*) ได้ทำการทดลองที่อัตราส่วนความหนาแน่นคงที่ที่ 0.83 อัตราส่วนความเร็วประสิทธิผลคงที่ที่ 6.0 ± 0.28 และอัตราส่วนโดยมวลของกระแสลมขวางต่ออัตราส่วนโดยมวลของเจ็ตคงที่ที่ 2.55 ± 0.05 โดยความเร็วของกระแสลมขวางนิยามจากค่าเฉลี่ยแบบพื้นที่ (Area average)

$$\overline{u_{cf}} = \frac{1}{A}\int u_{cf}\, dA \qquad (2.1)$$

โดยในทุกกรณีการทดลองจะทำที่ $\overline{u_{cf}}$ มีค่าประมาณ 1.4 ± 0.1 เมตรต่อวินาที มีความเร็วที่จุดกึ่งกลาง ($u_{cf,c}$) ประมาณ 1.63 ± 0.08 เมตรต่อวินาที และมีอุณหภูมิของกระแสลมขวางซึ่งพิจารณาจากค่าเฉลี่ยแบบพื้นที่ (Area average) ซึ่งนิยามจาก

$$\overline{T_{cf}} = \frac{1}{A}\int T_{cf}\, dA \qquad (2.2)$$

โดยในทุกกรณีการทดลองจะมีค่า $\overline{T_{cf}}$ ประมาณ 34.3 ± 0.5 °C มีอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางในกรณีที่กระแสลมขวางไม่มีการไหลแบบหมุนควง และในกรณีที่กระแสลมขวางมีการไหลแบบหมุนควง ($T_{cf,c}$) ประมาณ 35.6 ± 0.3 °C และ34.6 ± 0.3 °C ตามลำดับและมีค่า Reynolds number ของกระแสลมขวาง ($\mathrm{Re}_{cf} = \overline{u_{cf}}\, d/\nu$) ประมาณ 5,700

สำหรับเจ็ตก็ได้นิยามปริมาณต่างๆในลักษณะเดียวกับกระแสลมขวางคือ

$$\overline{u_j} = \frac{1}{A}\int u_j\, dA \qquad (2.3)$$

โดยในทุกกรณีการทดลองที่กระแสลมขวางไม่มีการไหลแบบหมุนควงจะทำที่ $\overline{u_j}$ มีค่าประมาณ 9.23 ± 0.15 เมตรต่อวินาที มีความเร็วที่จุดกึ่งกลาง ($u_{j,c}$) ประมาณ 12.14 ± 0.15 เมตรต่อวินาที และ ในกรณีที่กระแสลมขวางมีการไหลแบบหมุนควง จะทำที่ $\overline{u_j}$ มีค่าประมาณ 19.01 ± 0.20 เมตรต่อวินาที มีความเร็วที่จุดกึ่งกลาง ($u_{j,c}$) ประมาณ 22.54 ± 0.20 เมตรต่อวินาที และมีอุณหภูมิของเจ็ตซึ่งพิจารณาจากค่าเฉลี่ยแบบพื้นที่ (Area average) ซึ่งนิยามจาก

$$\overline{T_j} = \frac{1}{A}\int T_j dA \qquad (2.4)$$

โดยในทุกกรณีการทดลองจะมีค่า $\overline{T_j}$ ประมาณ 97.3 ± 0.5 °C มีอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลาง ($T_{j,c}$) ประมาณ 100 ± 0.5°C และมีค่า Reynolds number ของเจ็ต ($\mathrm{Re}_j = \overline{u}_j d/\nu$) ในกรณี *S0rd00* ประมาณ 7,600 กรณี *S0rd05* และ *S0rd10* ประมาณ 5,400 กรณี *S18rd00* ประมาณ 11,000 และกรณี *S18rd05* และ *S18rd10* ประมาณ 7,800

โดยที่ค่าต่างๆเหล่านี้มีความสอดคล้องกับการวิเคราะห์และการคำนวณแบบ การวิเคราะห์แบบตัวแปรไร้มิติ ในภาคผนวก ข สำหรับรายละเอียดของสภาวะการทดลองและความคลาดเคลื่อนในแต่ละกรณีทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1

เนื่องจากการให้ความร้อนกับเจ็ตอากาศทำให้มีความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของเจ็ตและกระแสลมขวาง ดังนั้นจึงพิจารณาผลของแรงลอยตัวที่เกิดขึ้นจากค่า Densimetric Froude number (*Fr*) ซึ่งนิยามเป็นอัตราส่วนระหว่างแรงลอยตัวของเจ็ตอากาศกับแรงเฉื่อยของกระแสลมขวางโดย

$$Fr = \left[\frac{(\rho_{cf} - \rho_j)gd}{\rho_{cf} u_{cf}^2}\right]^{1/2} \qquad (2.5)$$

ซึ่งในการทดลองมีค่า *Fr* เท่ากับ 0.09 และค่า Fr/r ซึ่งนิยามเป็นอัตราส่วนระหว่างแรงลอยตัวของเจ็ตอากาศกับแรงเฉื่อยของเจ็ตอากาศโดย

$$Fr/r = \left[\frac{(\rho_{cf} - \rho_j)gd}{\rho_j u_j^2}\right]^{1/2} \qquad (2.6)$$

ซึ่งในการทดลองมีค่า Fr/r เท่ากับ 0.002 นั่นคือผลของแรงลอยตัวเนื่องจากเจ็ตร้อนนั้นมีค่าประมาณ 9 % ของแรงเฉื่อยเนื่องจากความเร็วของกระแสลมขวางและมีค่าประมาณ 0.2 % ของแรงเฉื่อยเนื่องจากความเร็วของเจ็ตที่บริเวณปากทางออก

2.4 วิธีการทดลองและอุปกรณ์การวัด

การทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วน คือการวัดสภาวะเริ่มต้นและการวัดคุณลักษณะการกระจายของอุณหภูมิโดยเฉลี่ย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.4.1 การวัดสภาวะเริ่มต้น

การวัดสภาวะเริ่มต้นของกระแสลมขวาง

ในส่วนของสภาวะเริ่มต้นของกระแสลมขวางนั้นจะทำการวัดเมื่อพารามิเตอร์ทุกอย่างในการทดลองมีสภาวะที่คงที่ (Steady state) ตามที่กำหนดไว้ในแต่ละกรณี โดยได้กำหนดให้อุณหภูมิเฉลี่ยแบบพื้นที่ของทุกกรณีมีค่าใกล้เคียงกันที่คือจะมีค่า $\overline{T_{cf}}$ ประมาณ 34.3 °C มีอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลาง ($T_{cf,c}$) ในกรณีที่กระแสลมขวางไม่มีการไหลแบบหมุนควง และในกรณีที่กระแสลมขวางมีการไหลแบบหมุนควงประมาณ 35.6 °C และ 34.6 °C ตามลำดับ สำหรับการวัดสภาวะเริ่มต้นของกระแสลมขวางนั้นประกอบไปด้วยการวัดการกระจายของความเร็วและการวัดอุณหภูมิ ซึ่งจะทำการวัดที่ตำแหน่งก่อนถึงกึ่งกลางเจ็ตตัวแรกเป็นระยะ18 มิลลิเมตร หรือเท่ากับ (x/D = -0.25) และวัดในขณะที่ยังไม่มีการฉีดเจ็ตเข้าไปในกระแสลมขวาง โดยใช้ Pitot probe และ Yaw probe ในการวัดความเร็ว และใช้ Thermocouple ในการวัดอุณหภูมิ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

สำหรับการวัดความเร็วในกรณีที่กระแสลมขวางไม่มีการไหลแบบหมุนควง (*S0*) ใช้ Pitot probe ในการวัดความเร็วในแนวแกน (u) ที่ตำแหน่ง x/D = -0.25 โดยใส่ Probe เข้าทางด้านบนและด้านข้างของหน้าตัดทดสอบ (ด้าน z และ $-y$) และวัดไปตามแนว y และ z ดังรูปที่ 2.16 และใช้ความละเอียดในการวัด (Resolution) เท่ากับ 4 มิลลิเมตร สำหรับ Pitot probe ที่ใช้ในการวัดนั้นได้แสดงเป็นลักษณะดังรูปที่ 2.17 โดยวัดเทียบกับความดันสถิตของ Pressure tap ที่ตำแหน่งเดียวกัน สำหรับ Probe ดังกล่าวทำขึ้นจากเข็มสแตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอก 1.2 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางใน 0.8 มิลลิเมตร ดัดโค้งเป็นมุมฉาก ให้มีระยะจากปลายเข็มถึงแนวก้าน 34 มิลลิเมตร (29 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางนอกของเข็ม) เข็มสแตนเลสจะถูกต่อเข้ากับท่อทองเหลืองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอก 3.2 มิลลิเมตร ยาว 445 มิลลิเมตร เพื่อใช้เป็นก้าน Probe ทำให้มีความยาวรวมของก้าน Probe 495 มิลลิเมตรซึ่งความดันแตกต่างที่วัดได้จาก Pitot probe และ Static tap จะถูกแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้าโดย Pressure transducer ยี่ห้อ SETRA รุ่น 264 ที่มีช่วงการวัดความดันขาเข้า ±0.05 นิ้วน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.18ก และแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้าด้านทางออกได้ 0-5 volt แรงดันไฟฟ้าที่ได้นี้จะถูกอ่านเป็นค่าเฉลี่ยโดยใช้ Digital multimeter ยี่ห้อ Fluke รุ่น 19 ดังแสดงในรูปที่ 2.18ค

สำหรับการวัดความเร็วในกรณีที่กระแสลมขวางมีการไหลแบบหมุนควง (*S18*) ใช้ Yaw probe แบบ Three-tube cobra probe ลักษณะเดียวกับของ Chue (1975) ในการวัดความเร็วตามแนวแกน (u) และความเร็วตามแนวสัมผัส (w) ในขณะที่ยังไม่มีการฉีดเจ็ต โดยใส่ Probe เข้าทางด้านบนและด้านข้างของหน้าตัดทดสอบ (ด้าน z และ $-y$) และวัดไปตามแนว y และ z ที่ตำแหน่ง $0.25D$ ก่อนถึงเจ็ต โดยวัด ณ ตำแหน่งหน้าเจ็ตตัวแรก ทั้งในกรณีเจ็ตหนึ่งตัว *S18rd00* (x/D = -0.25) และกรณีเจ็ตสองตัว *S18rdxx* (x/D = -0.25) และตำแหน่งหน้าเจ็ตตัวที่สองทั้งกรณีการทดลอง *S18rd05* (x/D = 0.15) และ *S18rd10* (x/D = 0.56) ดังรูปที่ 2.19 และใช้ความละเอียด

ในการวัด (Resolution) เท่ากับ 4 มิลลิเมตร ในส่วนของ Yaw probe ที่ใช้นั้นแสดงดังรูป ที่ 2.20 โดย Yaw probe ที่ใช้ทำขึ้นจากเข็มสแตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอก 0.5 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางใน 0.32 มิลลิเมตร จำนวน 3 อันยึดติดกัน โดยเข็มด้านข้างทั้ง 2 ด้านถูกฝนให้มีมุมเอียง (α) เท่ากับ 45 องศา และดัดโค้งเป็นมุมฉาก ให้มีระยะจากปลายเข็มถึงแนวก้าน 50 มิลลิเมตร ก้านเข็มสแตนเลสแต่ละก้านถูกต่อเข้ากับท่อทองเหลืองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอก 3.2 มิลลิเมตร หนา 0.5 มิลลิเมตร เพื่อใช้เป็นก้าน Probe ทำให้ก้าน Probe มีความยาวรวม 500 มิลลิเมตร ซึ่งความดันแตกต่างที่วัดได้จาก Yaw probe จะถูกแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้าโดยใช้ Pressure transducer ยี่ห้อ SETRA รุ่น 264 ที่มีช่วงการวัดความดันขาเข้า ±0.05 นิ้วน้ำและอ่านค่าเฉลี่ยโดยใช้ Digital multimeter ยี่ห้อ Fluke รุ่น 19 (ตัวเดียวกับที่ใช้ในการวัดความเร็วของกระแสลมขวางในกรณีที่ไม่มีการไหลแบบหมุนควง) ซึ่ง Yaw probe ที่ทำขึ้นนี้ได้ทำการปรับเทียบกับ Pitot-Static Probe แบบมาตรฐานที่ความเร็ว 8 และ 15 เมตรต่อวินาที โดยแสดงรายละเอียดของการปรับเทียบและการคำนวณความเร็วในภาคผนวก ง สำหรับการวัดความเร็วรอบของท่อหมุนได้ใช้ Optical tachometer ยี่ห้อ SKF รุ่น TMOT6 ดังแสดงในรูปที่ 2.18ง

สำหรับการวัดอุณหภูมิของกระแสลมขวางในกรณีที่กระแสลมขวางไม่มีการไหลแบบหมุนควง (*S0*) และกรณีที่กระแสลมขวางมีการไหลแบบหมุนควง (*S18*) ใช้ Thermocouple probe ในการวัดอุณหภูมิตามแนวแกน (u) โดยใช้ตำแหน่งการวัด และความละเอียดในการวัดเหมือนกับการวัดความเร็ว ในส่วนของ Thermocouple probe ที่ใช้นั้นแสดงเป็นลักษณะ Schematic ดังรูปที่ 2.21ก (แบบA) และภาพถ่ายในรูปที่ 2.22ก (แบบA) โดย Thermocouple probe ที่ใช้ก้าน Probe ทำจากท่อทองเหลืองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 3.2 มิลลิเมตร หนา 0.5 มิลลิเมตร มีความยาวรวม 464 มิลลิเมตร ท่อทองเหลือง ถูกต่อเข้ากับก้านเข็มสแตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอก 1.2 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางใน 0.8 มิลลิเมตร และถูกดัดโค้งให้เป็นมุมฉาก และมีระยะจากปลาย Probe ถึงแนวก้าน 52 มิลลิเมตร สำหรับ Thermocouple probe นี้จะมี Sensor เป็นลวด Thermocouple ชนิด Type T (Copper-Constantan) ยี่ห้อ OMEGA รุ่น TT-T-30-SLE ที่มีช่วงของการวัดอุณหภูมิอยู่ระหว่าง –18 ถึง 120 องศาเซลเซียส ลวด Thermocouple นี้จะถูกสอดเข้าไปใน Probe โดยให้ปลายลวด Thermocouple ที่เป็นจุดวัดอุณหภูมิอยู่เลยออกมาจากปลาย Probe ประมาณ 6 มิลลิเมตร เพื่อไม่ให้ปลาย Probe ส่งผลกระทบต่อการไหล ซึ่งสัญญาณที่ได้จากลวด Thermocouple นี้จะถูกส่งเข้าไปในตัวอ่านค่าอุณหภูมิ (Thermocouple thermometer) ยี่ห้อ Fluke รุ่น 52-2 ดังรูปที่ 2.23 มีความละเอียด (Resolution) เท่ากับ 0.1 องศาเซลเซียส สำหรับค่าความถูกต้อง (Accuracy) ของเครื่องมือวัดนี้ถูกจำกัดโดยลวด Thermocouple ซึ่งมีค่าประมาณ ± 0.5°C ที่อุณหภูมิสูงสุดที่ทำการทดลองคือประมาณ 100°C และได้ทำการสอบเทียบ (Calibrate) Thermocouple ดังกล่าวกับอุปกรณ์มาตรฐานคือ Thermometer ในอ่างน้ำทำความร้อน โดยทำการสอบเทียบทุก 3 องศาเซลเซียส ดังแสดง

ผลการสอบเทียบดังรูปที่ 2.24 จากผลที่ได้พบว่าอุณหภูมิที่อ่านได้จาก Thermocouple มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับอุณหภูมิที่อ่านได้จากอุปกรณ์มาตรฐาน (Thermometer) โดยมีความชันของกราฟเท่ากับ 1 และระยะตัดแกนเท่ากับ 0.09

การวัดสภาวะเริ่มต้นของเจ็ต

ในส่วนของสภาวะเริ่มต้นของเจ็ตนั้นจะทำการวัดเมื่อพารามิเตอร์ทุกอย่างในการทดลองมีสภาวะที่คงที่ (Steady state) ตามที่กำหนดไว้ในแต่ละกรณี โดยได้กำหนดให้อุณหภูมิที่กึ่งกลางปากเจ็ตของทุกกรณีมีค่าใกล้เคียงกันที่ประมาณ 100 องศาเซลเซียส สำหรับการวัดสภาวะเริ่มต้นของเจ็ตนั้นประกอบไปด้วยการวัดการกระจายของความเร็วและการวัดอุณหภูมิ ซึ่งจะทำการวัดที่ตำแหน่งปากทางออกของเจ็ต ($x/d = 0$) โดยใช้ Pitot probe ในการวัดความเร็ว และใช้ Thermocouple ในการวัดอุณหภูมิ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

สำหรับการวัดความเร็ว ใช้ Pitot probe ในการวัดความเร็วในแนวแกน (u) ที่ตำแหน่งปากทางออกเจ็ต ($x/d = 0$) โดยวัดขณะที่ยังไม่ได้ติดตั้งเจ็ตเข้ากับท่อกระแสลมขวาง (ด้าน z' และ y') และวัดไปตามแนว y' และ z' ดังรูปที่ 2.25 และใช้ความละเอียดในการวัด (Resolution) เท่ากับ 1 มิลลิเมตร สำหรับ Pitot probe ที่ใช้ในการวัดนั้นได้แสดงเป็นลักษณะดังรูปที่ 2.17 (ตัวเดียวกับที่ใช้ในการวัดความเร็วของกระแสลมขวางกรณีที่ไม่มีการหมุนควง) โดยวัดเทียบกับความดันสถิตของอากาศภายนอกที่หยุดนิ่ง สำหรับในกรณีของเจ็ตที่กระแสลมขวางไม่มีการไหลแบบหมุนควง ($S0$) ความดันที่วัดได้จาก Pitot probe จะถูกแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้าโดย Pressure transducer ยี่ห้อ SETRA รุ่น 264 ที่มีช่วงการวัดความดันขาเข้า ± 0.5 นิ้วน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.18ข และแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้าด้านทางออกได้ 0-5 volt แรงดันไฟฟ้าที่ได้นี้จะถูกอ่านเป็นค่าเฉลี่ยโดยใช้ Digital multimeter ยี่ห้อ Fluke รุ่น 19 ดังแสดงในรูปที่ 2.18ค (ความเร็วที่มีความเร็วที่จุดกึ่งกลาง ($u_{j,c}$) ประมาณ 12.14 ± 0.15 เมตรต่อวินาที) และสำหรับกรณีที่กระแสลมขวางมีการไหลแบบหมุนควง ($S18$) ความดันที่วัดได้จาก Pitot probe จะถูกอ่านค่าโดย Inclined Manometer (ความเร็วที่มีความเร็วที่จุดกึ่งกลาง ($u_{j,c}$) ประมาณ 22.54 ± 0.20 เมตรต่อวินาที) ดังแสดงในรูปที่ 2.26

สำหรับการวัดอุณหภูมิของเจ็ตในกรณีที่กระแสลมขวางไม่มีการไหลแบบหมุนควง ($S0$) และกรณีที่กระแสลมขวางมีการไหลแบบหมุนควง ($S18$) ใช้ Thermocouple probe ในการวัดอุณหภูมิ โดยใช้ตำแหน่งการวัด และความละเอียดในการวัดเหมือนกับการวัดความเร็ว ในส่วนของ Thermocouple probe ที่ใช้นั้นแสดงเป็นลักษณะ Schematic ดังรูปที่ 2.21ก (แบบA) และภาพถ่ายในรูปที่ 2.22ก (แบบA) (ตัวเดียวกับที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิของกระแสลมขวาง)

2.4.2 การวัดการกระจายตัวของอุณหภูมิเป็นหน้าตัด

ในงานวิจัยนี้สำหรับทุกกรณีที่ศึกษา ได้ทำการวัดการกระจายตัวของอุณหภูมิเป็นหน้าตัดบนระนาบ *y-z* ที่ระยะตาม Downstream ต่างๆกัน เนื่องจากการทดลองนี้มีลักษณะเจ็ตในกระแสลมขวาง จึงเลือก $r_{eff}d$-scale เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ นอกจากนี้เมื่อคำนึงถึงลักษณะการนำไปประยุกต์ใช้ *D*-scale จึงเป็นอีกพารามิเตอร์หนึ่งที่เลือกใช้ คือ ในกรณี *S0rd00* และ *S18rd00* ทำการวัดที่ $x/r_{eff}d$ = 0.25, 0.50, 0.75, 1.50, 2.00, 2.50 และ 3.00 และที่ x/D = 2.52 และ 3.36 ในกรณี *S0rd05* และ *S18rd05* ทำการวัดที่ $x/r_{eff}d$ = 0.25, 0.75, 1.50, 2.00, 2.50 และ 3.00 และที่ x/D = 2.52 และ 3.36 และในกรณี *S0rd10* และ *S18rd10* ทำการวัดที่ $x/r_{eff}d$ = 0.25, 0.50, 1.25, 1.50, 2.00, 2.50 และ 3.00 และที่ x/D = 2.52 และ 3.36 ดังรูปที่ 2.27 โดยใช้ Thermocouple และตัวอ่านอุณหภูมิ ชุดเดียวกันกับการวัดสภาวะเริ่มต้นของอุณหภูมิเจ็ตและกระแสลมขวาง โดยแสดงเป็นลักษณะ Schematic ดังรูปที่ 2.21ก (แบบA) และภาพถ่ายในรูปที่ 2.22ก (แบบA)โดยวัดเป็น Grid และมีความละเอียดในการวัด (Resolution) ของมุม (θ) ทุกๆ 10 องศา และความละเอียดในการวัดตามแนวรัศมีคือ 4 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2.28 โดยยื่น Thermocouple probe เข้าตามแนวรัศมี โดยใช้ที่จับ Thermocouple probe ดังแสดงในรูปที่ 2.29

สำหรับการวัดอุณหภูมิกรณีการทดลองเจ็ตสองตัว (*Sxrd05* และ *Sxrd10*) ในการวัดอุณหภูมิที่หน้าตัดระหว่างเจ็ตตัวแรกและเจ็ตตัวที่สอง (ในกรณี *S0rd05* และ *S18rd05* ที่ $x/r_{eff}d$ = 0.25 และในกรณี *S0rd10* และ *S18rd10* ที่ $x/r_{eff}d$ = 0.25, 0.50) เพื่อกันผลของก้าน Thermocouple probe ที่อาจไปขวางการไหลของเจ็ตตัวที่สอง จึงได้จัดทำ Thermocouple probe ขึ้นมาอีกหนึ่งชิ้นโดย Thermocouple probe ที่ใช้นั้นแสดงเป็นลักษณะ Schematic ดังรูปที่ 2.21ข (แบบB) และภาพถ่ายในรูปที่ 2.22ข (แบบB) โดย Thermocouple probe ที่ใช้ก้าน Probe ทำจากท่อทองเหลืองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 3.2 มิลลิเมตร หนา 0.5 มิลลิเมตร มีความยาวรวม 474 มิลลิเมตร ท่อทองเหลือง ถูกต่อเข้ากับก้านเข็มสแตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอก 1.2 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางใน 0.8 มิลลิเมตร และถูกดัดโค้งให้เป็นมุมฉาก และมีระยะจากปลาย Probe ถึงแนวก้าน 12 มิลลิเมตร สำหรับ Thermocouple probe นี้จะมี Sensor เป็นลวด Thermocouple ชนิด Type T (Copper-Constantan) ยี่ห้อ OMEGA รุ่น TT-T-30-SLE ที่มีช่วงของการวัดอุณหภูมิอยู่ระหว่าง –18 ถึง 120 องศาเซลเซียส ลวด Thermocouple นี้จะถูกสอดเข้าไปใน Probe โดยให้ปลายลวด Thermocouple ที่เป็นจุดวัดอุณหภูมิอยู่เลยออกมาจากปลาย Probe ประมาณ 3 มิลลิเมตร เพื่อไม่ให้ปลาย Probe ส่งผลกระทบต่อการไหล

สำหรับการวัด Check อุณหภูมิที่ปากทางออกเจ็ตในขณะที่ติดตั้งชุดเจ็ตกับท่อกระแสลมขวางแล้ว Thermocouple probe ที่ใช้นั้นแสดงเป็นลักษณะ Schematic ดังรูปที่ 2.21ค (แบบC) และภาพถ่ายในรูปที่ 2.22ค (แบบC) โดย Thermocouple probe ที่ใช้ก้าน Probe ทำจากท่อทอง

เหลืองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 3.2 มิลลิเมตร หนา 0.5 มิลลิเมตร มีความยาวรวม 478 มิลลิเมตร ท่อทองเหลืองถูกต่อเข้ากับก้านเข็มสแตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอก 1.2 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางใน 0.8 มิลลิเมตรยาว 133 มิลลิเมตรสำหรับ Thermocouple probe นี้จะมี Sensor เป็นลวด Thermocouple ชนิด Type T (Copper-Constantan) ยี่ห้อ OMEGA รุ่น TT-T-30-SLE ที่มีช่วงของการวัดอุณหภูมิอยู่ระหว่าง –18 ถึง 120 องศาเซลเซียส ลวด Thermocouple นี้จะถูกสอดเข้าไปใน Probe โดยให้ปลายลวด Thermocouple ที่เป็นจุดวัดอุณหภูมิอยู่เลยออกมาจากปลาย Probe ประมาณ 6 มิลลิเมตร เพื่อไม่ให้ปลาย Probe ส่งผลกระทบต่อการไหล ซึ่งสัญญาณที่ได้จากลวด Thermocouple ทั้งสองนี้จะถูกส่งเข้าไปในตัวอ่านค่าอุณหภูมิ (Thermocouple thermometer) ยี่ห้อ Fluke รุ่น 52-2 ดังรูปที่2.23 (ตัวเดียวกับที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิของกระแสลมขวาง) สำหรับค่าความถูกต้อง (Accuracy) ของเครื่องมือวัดนี้ถูกจำกัดโดยลวด Thermocouple ซึ่งมีค่าประมาณ ± 0.5°C ที่อุณหภูมิสูงสุดที่ทำการทดลองคือประมาณ 100°C และได้ทำการสอบเทียบ (Calibrate) Thermocouple ดังกล่าวกับอุปกรณ์มาตรฐานคือ Thermometer ในอ่างน้ำทำความร้อน โดยทำการสอบเทียบทุก 3 องศาเซลเซียส ดังแสดงผลการสอบเทียบดังรูปที่ 2.24 จากผลที่ได้พบว่าอุณหภูมิที่อ่านได้จาก Thermocouple มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับอุณหภูมิที่อ่านได้จากอุปกรณ์มาตรฐาน (Thermometer) โดยมีความชันของกราฟเท่ากับ 1 และระยะตัดแกนเท่ากับ 0.09 เช่นกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย