สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
ชุดทดลองและการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณลักษณะของการผสมจากผลของการหมุนควงของเจ็ตในกระแสน้ำขวางที่ Swirl ratio 0, 0.5 และ 0.8 โดยทำการทดลองที่ค่าอัตราส่วนความเร็วประสิทธิผล (r) คงที่ ประมาณ 4 และที่ Re_j คงที่ประมาณ 1300 ภาพเขียนจำลองของชุดทดลองในงานวิจัยดังแสดงในรูปที่ 2.1

2.1 รายละเอียดชุดทดลอง

2.1.1 อุโมงค์น้ำ (Water tunnel)

อุโมงค์น้ำที่ใช้ในงานวิจัยเป็นแบบการไหลในแนวดิ่งดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดย Crossflow ที่ใช้ในการทดลองจะมีทิศทางการไหลจากด้านล่างขึ้นไปด้านบน สำหรับ Test section จะมีหน้าตัดเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีขนาด 19.8 x 20.2 ตารางเซนติเมตร โดยการจ่ายน้ำเป็นแบบฝายน้ำล้นซึ่งมีถังฝายน้ำล้นเข้าของชุดกระแสน้ำขวาง(Overflow Crossflow ในรูปที่ 2.2) วางอยู่สูงกว่าระดับน้ำของถังฝายน้ำล้นออกของชุดกระแสน้ำขวาง(Overflow Test section ในรูปที่ 2.2) ประมาณ 170 เซนติเมตร ก่อนเข้าส่วนของ Test section (รูปที่ 2.3) จะมีตะแกรงสแตนเลสตาข่าย 50 ช่องใน 1 นิ้ว จำนวน 8 แผ่น โดยวางห่างกัน 5 เซนติเมตร ซึ่งจะวางตัวก่อนเข้ารังผึ้ง 2 แผ่น วางปิดหัวและปิดท้ายรังผึ้งอีกอย่างละหนึ่งแผ่น และวางหลังรังผึ้งไปในทิศข้างหลังการไหลอีก 4 แผ่น รวมทั้งหมด 8 แผ่น รังผึ้งทำจากหลอดพลาสติกยาว 22.5 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ที่ตำแหน่งห่างจากตะแกรงตาข่ายแผ่นสุดท้ายไปประมาณ 1 เท่าของความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของ Test Section จะเป็นตำแหน่งที่จะมีเจ็ตถูกฉีดเข้ามา

การทำงานของอุโมงค์น้ำที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบระบบปิด น้ำที่ใช้มาจากถังน้ำ 230 ลิตร ซึ่งทาสีกันสนิมเซลล์เวเธอโคทเบอร์ 3 โดยปริมาณน้ำที่ไหลเวียนอยู่ในชุดอุโมงค์น้ำรวมทั้งท่อต่างๆ ประมาณ 117.5 ลิตร จึงรวมน้ำทั้งสิ้นที่ใช้ในอุโมงค์น้ำ 347.5 ลิตร การทำงานจะเริ่มต้นจากปั๊มน้ำจะส่งน้ำไปให้ฝายน้ำล้นเข้าของชุดกระแสน้ำขวาง เพื่อปรับสภาพแรงดันไม่คงที่จากปั๊มให้คงที่ก่อน จากนั้นน้ำที่จ่ายจากฝายน้ำล้นเข้าของชุดกระแสน้ำขวางจะผ่านชุดปรับการไหล ที่ประกอบไปด้วยตะแกรงตาข่ายจำนวน 8 แผ่นและรังผึ้ง ก่อนที่จะเข้าสู่ Test Section

2.1.2 ชุดเจ็ตแบบท่อหมุน (Rotating pipe)

ท่อเจ็ตทำจากอะคริลิกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใน 8 มิลลิเมตร โดยภายในท่อจะมีตะแกรงสแตนเลสตาข่าย 50 ช่องใน 1 นิ้ว จำนวน 6 แผ่น โดยวางห่างกัน 1 เซนติเมตร รังผึ้งทำจากหลอดพลาสติกเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ยาว 35 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางหลอด จำนวน 5 หลอด ตะแกรงจะถูกวางอยู่ก่อนรังผึ้ง 2 แผ่น ที่เหลือจะถูกวางหลังรังผึ้ง 4 แผ่น ซึ่งแผ่นสุดท้ายวางตัวห่างจากปากทางออกเจ็ต 8.4 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อเจ็ต ท่อเจ็ตจะถูกขับด้วยมอเตอร์กระแสตรง 24 โวลต์ 72 วัตต์ ส่งถ่ายกำลังด้วยไทม์มิ่งมูเล่ย์แบบตัวขับ 72 ฟันผ่านสายพานไทม์มิ่งเบลท์ Gate® Powergrip B200MML ไปไทม์มิ่งมูเล่ย์แบบตัวตาม 72 ฟัน ด้วยอัตราทดรอบ 1:1 (ดังในรูปที่ 2.4)

การทำงานของท่อเจ็ตที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบระบบเปิด ปั๊มน้ำส่งน้ำจากถัง 60 ลิตรไปให้ฝายน้ำล้นเข้าของชุดเจ็ต (รูปที่ 2.2) ซึ่งอยู่สูงกว่าระดับน้ำของฝายน้ำออกของอุโมงค์น้ำ 120 เซนติเมตร ซึ่งทำหน้าที่ปรับความดันให้คงที่สำหรับการจ่ายน้ำให้แก่ท่อเจ็ตหมุน (รูปที่ 2.4) มอเตอร์กระแสตรงที่ใช้ขับท่อให้หมุนถูกปรับรอบด้วยการปรับโวลต์เตจจาก Regulator Power Supply 0-30V. 10A. EPS Model DM-3010

2.2 พิกัดอ้างอิงที่ใช้ในการทดลอง

ในการศึกษาวิจัยนี้ได้กำหนดระบบแกนที่ใช้อ้างอิงในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยทิศแกน x มีทิศไปตามการไหลของการไหลขวาง แกน y มีทิศไปตามการพุ่งออกมาของเจ็ต แกน z มีทิศตั้งฉากกับระนาบ xy ในการทดลองนี้จะแสดงผลการทดลองด้วยภาพถ่ายซึ่ง ภาพ Sideview จะเป็นบนระนาบ xy (Extinction ของแสงเมื่อวิ่งผ่านตัวกลางคือเจ็ต ตามแนวแกน z) และภาพ Topview จะเป็นภาพถ่ายบนระนาบ zx (Extinction ของแสงเมื่อวิ่งผ่านตัวกลางคือเจ็ต ตามแนวแกน y)

2.3 วิธีการทดลองและอุปกรณ์การวัด

2.3.1 การเตรียมการและวัดผลของพารามิเตอร์หลักในการทดลอง

2.3.1.1 สภาวะการทดลอง

โดยในการทดลองจะทดลองที่ r Re_j และ Stoichiometric เดียวกัน คือ ที่ อัตราส่วนความเร็วประสิทธิผล (r) ประมาณ 4 Re_j ประมาณ 1300 และ Stoichiometric กรด:เบส 1.25:1 แต่แปรค่า Swirl ratio ไปคือ 0 (ไม่มี Swirl), 0.5,0.8 และหมุนสวนทาง *08

สัญลักษณ์กำกับชื่อกรณีทดลองดังนี้

Active	ตัวย่อ	A
Passive	ตัวย่อ	P
swirl ratio 0.5	ตัวย่อ	05
swirl ratio 0.8	ตัวย่อ	08
swirl ratio 0.8(หมุนกลับทาง)	ตัวย่อ	*08

2.3.1.2 การวัดผลของพารามิเตอร์หลักในการทดลอง

ปริมาณที่วัดหรือจัดเตรียมในการทดลองประกอบด้วย ความเร็วเฉลี่ยแบบพื้นที่หน้าตัดของเจ็ต ความเร็วเฉลี่ยแบบพื้นที่หน้าตัดของกระแสน้ำขวาง และความเร็วรอบของการหมุนท่อเจ็ต

ความเร็วเฉลี่ยแบบพื้นที่หน้าตัดของเจ็ตที่ใช้ในการทดลองนิยามจากอัตราการไหลเชิงปริมาตรต่อพื้นที่หน้าตัดของท่อเจ็ต

$$\overline{v_j} = \frac{\dot{Q}_j}{A_j}$$

โดยในการทดลอง $\overline{v_j}$ มีค่าประมาณ 15.2 ± 2.0 เซนติเมตรต่อวินาที ซึ่งในการทดลองจะไม่ได้วัดปริมาณน้ำเทียบกับเวลาจริงๆ หรือปรับวาล์วให้ได้ scale ตามต้องการ แต่จะปรับวาล์วครั้งเดียวให้ได้ปริมาณน้ำเทียบกับค่าที่ได้ calibrate เอาไว้ (ตารางที่ 2.3) คือความต่างของระดับน้ำ 0.2 มิลลิเมตรน้ำหรือคิดเป็น $\overline{v_j} \approx$ 15.2 cm/sec แล้วจะคงตำแหน่งวาล์วนั้นไว้ตลอดทำการทดลองทั้งหมด ใช้วาล์วปิดเปิด(รูปที่ 2.2: open valve jet) ทำการเปิดปิด jet แทน ขณะเดียวกันก็จะเช็คปริมาณการไหลของน้ำจากความดันแตกต่างที่วัดคร่อม venturi ที่ต่อในท่อเจ็ต แล้วเปรียบเทียบกับค่าที่ได้ calibrate venturi มาแล้วอีกทีหนึ่ง(ตารางที่ 2.3) เครื่องมือที่ใช้อ่านค่าความดันแตกต่างคือ manometer ยี่ห้อ dwyer Model 424 ช่วงของการอ่านค่าของเครื่องมือ 0-25 มิลลิเมตรน้ำ มีสเกลย่อย 0.2 มิลลิเมตรน้ำ

ความเร็วเฉลี่ยแบบพื้นที่หน้าตัดของกระแสน้ำขวางที่ใช้ในการทดลองมีนิยามจากอัตราการไหลเชิงปริมาตรต่อพื้นที่หน้าตัดของท่อเจ็ต

$$\overline{v_{cf}} = \frac{\dot{Q}_{cf}}{A_{cf}}$$

โดยในการทดลอง $\overline{v_{cf}}$ มีค่าประมาณ 4.0 ± 0.1 เซนติเมตรต่อวินาที โดยในการทดลองจะไม่ได้ปรับวาล์วทุกครั้งแต่จะปรับวาล์ว (รูปที่ 2.2: adjust flowrate crossflow valve) ครั้งเดียวให้ได้อัตราการไหลตามต้องการแล้วคงตำแหน่งวาล์วเอาไว้ ใช้วาล์วปิดเปิด (รูปที่ 2.2: open valve Cf) ทำการเปิด

ปิด crossflow แทน และทุกครั้งที่ทดลองได้อ่านค่าปริมาณการไหลของน้ำจากความแตกต่างที่วัดคร่อม venturi ที่ต่อในท่อของชุดส่งน้ำให้ test section แทนแล้วเปรียบเทียบกับค่าที่ได้ carlibrate venturi มาแล้ว(ตารางที่ 2.2) เครื่องมือที่ใช้อ่านค่าความดันแตกต่างคือ manometer ยี่ห้อ dwyer Model 424 ช่วงของการอ่านค่าของเครื่องมือ 0-25 มิลลิเมตรน้ำ มีสเกลย่อย 0.2 มิลลิเมตรน้ำ

ความเร็วรอบที่ใช้ในการทดลอง ที่ Swirl ratio 0.5 วัดได้ 190±15 RPM หรือประมาณ Swirl ratio 0.5±0.1 ที่ Swirl ratio 0.8 วัดได้ 305±15 RPM หรือประมาณ Swirl ratio 0.80±0.14 โดยใช้ Optical Tachometer ของ SKF รุ่น TMOT6 จับแสงที่สะท้อนจากแถบสะท้อนแสงซึ่งติดที่จานยึดติดกับเพลาด้านหลังของมอเตอร์

2.3.2 การเตรียมสารละลายและการวัดความเข้มข้น

เพื่อศึกษาการผสมกันในระดับโมเลกุลโดยใช้การทำปฏิกิริยาทางเคมี(active scalar) จึงต้องมีการเตรียมสารเคมีที่ทำให้เกิดสีเพื่อช่วยในการแสดงปฏิกิริยาการผสม โดยใช้ ph indicator มาช่วยทำให้เห็นถึงกระบวนการการผสม ในการทดลองของงานวิจัยนี้ใช้ phenolphthalein ของ LABCHEM 368-100G ซึ่งมีช่วงของการเปลี่ยนสี คือ colorless ที่ pH 8.0 และ red ที่ pH 10.0

ในการทดลองจะเริ่มจากการเตรียมกรด HNO_3 เข้มข้น 15 โมล/ลิตร ให้เป็นสารละลายเข้มข้น 0.01โมล/ลิตร และเตรียมเบส NaOH เข้มข้น 50% ให้สารละลายเข้มข้น 0.01โมล/ลิตร เพื่อให้ทำปฏิกิริยากันจนถึงจุดยุติที่อัตราส่วน HNO_3 : NaOH เป็น 1:1 โดยปริมาตร จากนั้นจึงเตรียม ph indicator ด้วยการตวง phenolphthalein ปริมาตร 1 cc. ผสมกับเอทานอล 50 cc. แล้วนำไปผสมกับเบส NaOH เข้มข้น 50%และเจือจางด้วยน้ำ จนได้สารละลายเบส 0.01 โมล/ลิตร 60 ลิตร (ภาคผนวก ข) แต่จากการไตเตรทแล้วพบว่า Stoichiometric (HNO3:NaOH)ที่ทำปฏิกิริยากันจริงขณะทดลองคือ 1.25 ± .05 : 1 ดังแสดงในตารางที่ 2.5 สำหรับการทดลองในกรณี Passive เจ็ตที่ใช้เป็นเบสที่มีความเข้มข้นและ phenolphthalein ปริมาณเท่ากับ กรณี Active ส่วน Crossflow ที่ใช้จะเป็นน้ำเปล่า

2.3.3 การจัดแสงและการเตรียมการทางภาพ

ให้แสงใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ 10 W จำนวน 2 หลอดสำหรับมุมถ่ายด้านข้าง และ3 หลอดสำหรับมุมถ่ายด้านบน การให้แสงเป็นแบบให้แสงมาทางด้านหลัง โดยแสงจะวิ่งผ่านฉากหลังสติกเกอร์พลาสติก pvc สีขาว, ผ่านอะคริลิก, ผ่านน้ำ, ผ่านเจ็ต, ผ่านน้ำ, ผ่านอะคริลิก, ผ่านอากาศ, แล้วจึงเข้าสู่กล้องถ่ายภาพ

ภาพถ่ายที่ได้บันทึกในการทดลองใช้กล้องถ่ายภาพของ Sony DCR-TRV950E ในระบบ PAL บันทึกภาพลงบนเทป mini DV แล้วทำการ capture ภาพจากเทปมาเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์ด้วยฟอร์แมทไฟล์ AVI ขนาด 720x576 pixels

การวิเคราะห์สัญญาณภาพในงานวิจัยนี้ใช้เฉพาะสัญญาณสีเขียวเท่านั้นจากทั้งหมด 3 สัญญาณคือ แดง เขียว และน้ำเงิน ทั้งนี้เพราะสัญญาณสีเขียวนั้นมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดในสามสัญญาณ (ดังแสดงการเปรียบเทียบในรูปที่ 2.6) เนื่องจาก phenolphthalein ที่มีสีชมพูซึ่งดูดซับสัญญาณสีเขียวเอาไว้มากกว่าสัญญาณสีอื่นๆนั้น ทำให้ได้ความแตกต่างของสัญญาณที่ถูกดูดซับกับไม่ถูกดูดซับชัดเจนกว่าสัญญาณสีอื่นๆ

อนึ่งการเก็บภาพด้วยกล้อง video ปัญหาหนึ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้คือ Perspective ทำให้มีความคลาดเคลื่อนได้ในเรื่องของตำแหน่งตามระยะทางในแนวลึกของภาพ อย่างไรก็ตามวิธีการเก็บภาพมาวิเคราะห์มีข้อเด่นตรงที่ข้อมูลทั้งหมดที่เกิดขึ้นในเวลาเดียวกันจะอยู่ภายในภาพภาพเดียว