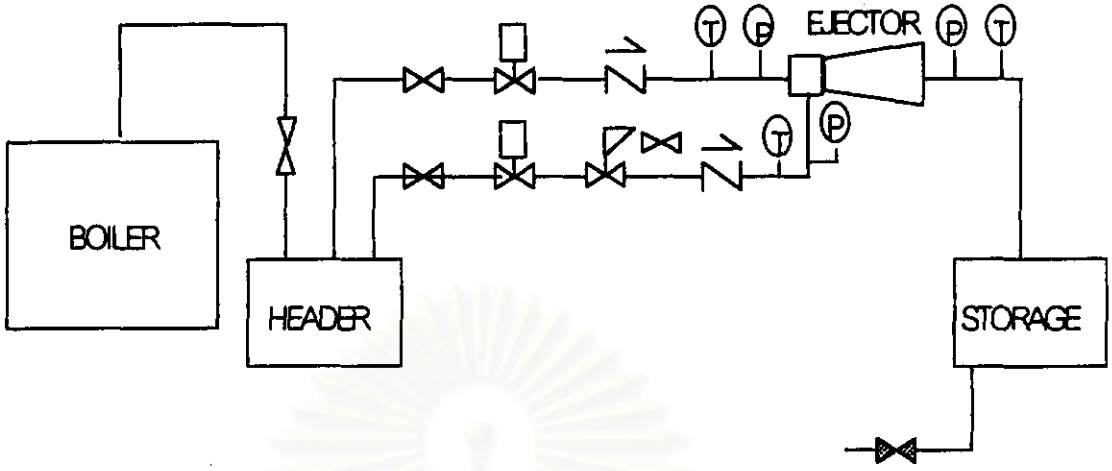
บทที่ 4

อุปกรณ์การทดลอง

4.1 ลักษณะโดยทั่วไปของอุปกรณ์การทดลอง

สตีมอีเจคเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเพิ่มความดันให้กับไอน้ำความดันต่ำให้มีความดันสูงขึ้นพอที่จะนำกลับไปใช้ใหม่ในขบวนการผลิต หลักการคือจะใช้ไอน้ำความดันสูงที่เปลี่ยนพลังงานในรูปของความดันให้เป็นความเร็วเหนือเสียง (supersonic) เพื่อเป็นตัวเหนี่ยวนำ (Entrainment) ไอน้ำความดันต่ำให้ไหลผสมไปด้วยกัน โดยไหลผ่านท่อผสมที่มีพื้นที่หน้าตัดที่เปลี่ยนแปลง โดยไอน้ำปฐมภูมิจะไหลอยู่ในแกนของพื้นที่ผสมและไอน้ำทุติยภูมิจะถูกเหนี่ยวนำให้ไหลผสมไปด้วยกัน โดยจะไหลอยู่รอบ ๆไอน้ำปฐมภูมิซึ่งเป็นการผสมแบบ annular mixing จากรูปที่ 4.1 ไอน้ำจะถูกผลิตจากหม้อต้มไอน้ำส่งไอน้ำผ่านท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้วไปยัง header tank ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้วเพื่อเก็บไอน้ำก่อนถูกแยกเป็น 2 สาย คือ สายแรกเป็นตัวสร้างไอน้ำความดันสูงหรือไอน้ำปฐมภูมิ (primary steam) และสายที่สองเป็นตัวสร้างไอน้ำแรงดันต่ำหรือไอน้ำทุติยภูมิ (secondary steam) แต่เนื่องจากทั้งสองสายมาจาก header เดียวกันทำให้ความดันภายในท่อของทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงใช้วาล์วปรับแรงดัน (pressure regulator valve) เป็นตัวปรับลดแรงดันใน line ของไอน้ำทุติยภูมิให้มีค่าลดลง และสามารถปรับอัตราการไหลโดยมวลของแต่ละ line ด้วย globe valve ซึ่งเราจะทราบค่าอัตราการไหลโดยมวลได้จากการอ่านค่าจาก steam flow meter

ในการทดลองจะกำหนดแต่ละสภาวะการทดลองให้มีค่าความดันแต่ละ line ให้มีความดันที่คงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งสามารถทำได้โดยการปรับวาล์วที่ทางออกของ storage tank ในกรณีที่ไม่สามารถปรับความดันที่วาล์วปรับแรงดันให้ได้ตามความดันที่ต้องการทดลองใน line ของไอน้ำทุติยภูมิ ในส่วนของไอน้ำปฐมภูมิถ้าหากความดันที่อ่านได้จากเกจความดัน (pressure gauge) ที่ติดตั้งก่อนทางเข้าชุดสตีมอีเจคเตอร์มีค่าต่ำกว่าความดันที่กำหนดแล้ว จำเป็นจะต้องลดอัตราการไหลโดยมวลของไอน้ำใน line ทุติยภูมิโดยการปรับ globe valve ขนาด 1 นิ้วที่ติดตั้งอยู่ต่อจากวาล์วปรับแรงดันตามรูปที่ 4.1 จนกว่าจะได้ความดันใน line ของไอน้ำปฐมภูมิตามที่ต้องการ ซึ่งจะเห็นว่าความดันและอัตราการไหลในแต่ละ line ขึ้นแก่กัน เพราะเนื่องจาก



รูปที่ 4.1 แสดงไดอะแกรมตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ของชุดทดสอบ steam ejector

ใช้ header เดียวกันและหม้อต้มไอน้ำไม่สามารถสร้างไอน้ำให้สูงกว่า 80 kg/hr ตามความดันที่ต้องการทดลองได้ ดังนั้นถ้าหากเป็นไปได้ควรจะใช้ไอน้ำที่มากจากคนละแหล่งเพื่อทำให้การปรับความดันได้ง่ายขึ้น ในทางกลับกันถ้าหากความดันที่อ่านได้จากเกจมีค่าสูงกว่าที่กำหนดแล้ว จะต้องปรับ globe valve ที่ติดตั้งอยู่ก่อน steam flow meter และการติดตั้งอุปกรณ์ใดๆ ที่อยู่ลำดับก่อน steam flow meter จำเป็นจะต้องตรวจสอบจากคู่มือผู้ผลิตด้วยว่า ระยะห่างอย่างน้อยที่สุดจาก steam flow metere ควรเป็นเท่าไร เพื่อป้องกันความแปรปรวนของ streamline หลังผ่านอุปกรณ์นั้นๆ ก่อนเข้า steam flow meter ซึ่งในชุดทดลองนี้จะมีระยะประมาณ 20 เท่าของเส้นผ่านศูนย์ของท่อที่ต่อเข้ากับ steam flow meter

ในการบันทึกค่าการทดลองจะทำการบันทึกค่าอัตราการไหลโดยมวล ความดันและอุณหภูมิที่ระยะห่างของนอซเซิลปฐมกับ mixing throat 4 ระยะคือ 0, 13, 29 และ 55 มิลลิเมตร จากค่าเลขมัค 4 ค่าคือ 1.7, 1.9, 2.2 และ 2.4 โดยเฉพาะค่าความดันและอุณหภูมิจะบันทึกค่าก่อนเข้าและหลังออกจากสตีมอีเจคเตอร์โดยอ่านค่าจากเกจความดันและเทอร์โมมิเตอร์ ซึ่งจะต้องพยายามติดตั้งให้อยู่ในตำแหน่งที่ใกล้กับสตีมอีเจคเตอร์มากที่สุดและพยายามไม่ให้มีข้อต่อ (fitting) ใดๆ ติดตั้งขั้นกลางอยู่ระหว่างอุปกรณ์วัดกับสตีมอีเจคเตอร์เพื่อให้ความดันที่อ่านได้จากเกจเป็นค่าที่ไม่มีผลการสูญเสียเนื่องจากความเสียดของระยะและความดันลดเนื่องจากผ่านข้อต่อ ในการทดลองอาจจะเกิดความดันย้อนกลับ (back pressure)

ขึ้นได้ดังนั้นจึงจำเป็นต้องติดตั้งวาล์วกันไหลย้อนกลับ (check valve) ในตำแหน่งก่อนเทอร์โมมิเตอร์ของแต่ละ line เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดกับ steam flow meter

4.2 สตีมอีเจคเตอร์

วัสดุที่ใช้ทำสตีมอีเจคเตอร์ทำจากทองเหลืองเนื่องจากง่ายต่อการกลึง (machining) ให้ผิวด้านในเรียบ และไม่เป็นสนิมเมื่อถูกไอน้ำ อีกทั้งค่าความหยาบ (roughness) มีค่าต่ำ ชุดสตีมอีเจคเตอร์ประกอบด้วยส่วนหลักๆ 3 ส่วนคือ

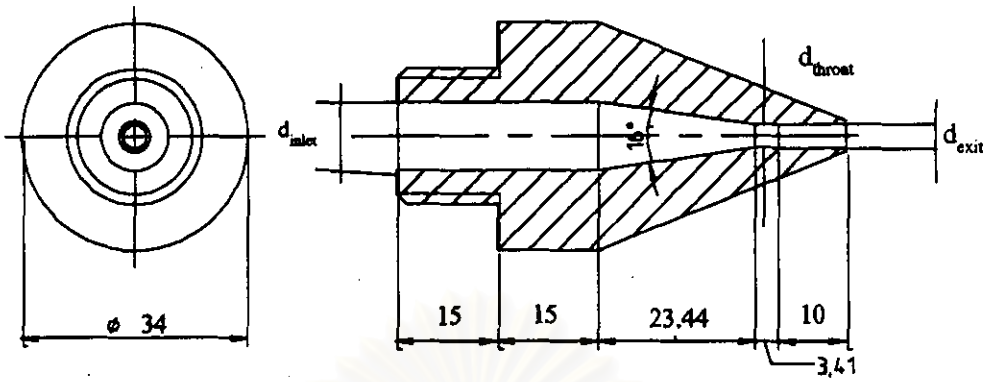
ส่วนแรก

นอซเซิลปฐมภูมิซึ่งเป็นส่วนที่เปลี่ยนรูปพลังงานในรูปของความดันให้อยู่ในรูปของความเร็วเหนือเสียง โดยค่าเลขมัคที่ใช้ทดสอบมี 4 ค่าคือ 1.7, 1.9, 2.2 และ 2.4 โดยมีขนาดและรูปร่างดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 นอซเซิลปฐมภูมิจะถูกติดตั้งอยู่บนแกนทองเหลืองทรงกระบอกที่เจาะรูปขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มม.ตลอดแนวศูนย์กลางเพื่อให้ไอน้ำปฐมภูมิไหลเข้านอซเซิล และสามารถปรับระยะห่างจากคอ (mixing throat) เข้าออกได้ โดยการหมุนแกนทองเหลืองนี้ซึ่งถูกทำเกลียวที่ผิวด้านนอกเพื่อหมุนเข้ากับเกลียวของชุดผสมรูปตัววาย

No.	Mach No.	D inlet mm	D throat mm	D outlet mm
1	1.7	15	3.84	4.42
2	1.9	15	3.41	4.13
3	2.2	15	3.92	5.7
4	2.4	10	3.62	6.1

ตารางที่ 4.1 แสดงขนาดมิติของ Primary Nozzle

I18085532



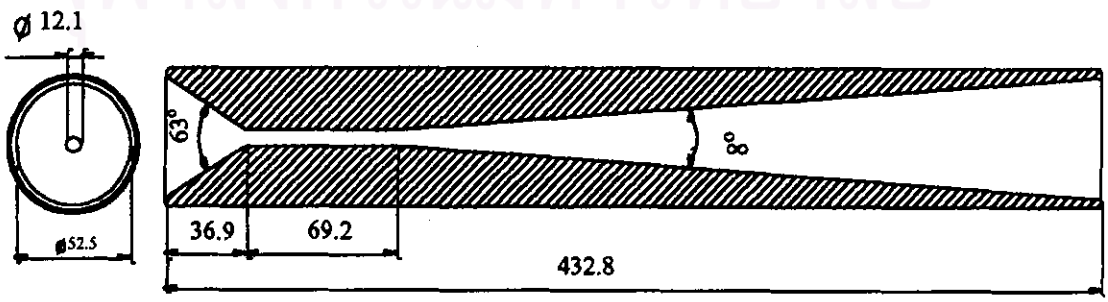
รูปที่ 4.2 แสดงมิติของ Primary nozzle

ส่วนที่สอง

ชุดผสมที่เป็นท่อรูปตัววายทำมุมเอียง 30 องศากับ line ปฐมภูมิโดยท่อขนาด 2 นิ้ว ของ line ทุติยภูมิทำจะถูกต่อเข้ากับชุดผสมนี้ และ line ปฐมภูมิจะต่อเข้าแกนทองเหลือง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้วที่เป็นส่วนยึดติดนอซเซิลปฐม ส่วนทางออกจะต่อเข้ากับท่อผสม

ส่วนที่สาม

ท่อผสมเป็นส่วนที่ทั้งสองสตีมเริ่มตันที่จะผสมกันจริง ทำจากแท่งทองเหลืองทรงกระบอกที่ถูกกลึงภายในเป็นมุมเอียง ทางเข้า (convergence) มุม 63 องศา คอ (mixing throat) ยาว 69.2 มม. และมุมทางออก (divergence) มุม 8 องศา ดังรูปที่ 4.3 และถ้าหากมุมมากกว่า 8 องศาก็อาจจะทำให้เกิดการ separation ขึ้นได้ สำหรับท่อผสมที่เป็นท่อตรงจะใช้ท่อเหล็กดำแบบไร้ตะเข็บ schedule 40 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 52.50 มม. ยาว 432 มม.



รูปที่ 4.3 mixing tube

4.3 อุปกรณ์ทดลองอื่น ๆ

หม้อต้มไอน้ำ type MC-1, Johnson สามารถสร้างความดันใช้งานสูงสุด (max working pressure) 10 บาร์ equivalent evaporative quantity 130 kg/hr ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

Pressure gauge เป็นแบบ bourdon gauge, range 0 ถึง 10 บาร์, resolution 0.1 บาร์ สำหรับอ่านค่าความดันทางเข้าของ line ปฐมภูมิ และทางออกของสตีมอีเจคเตอร์ และ range -30 mm Hg ถึง 10 บาร์, resolution 0.05 บาร์ สำหรับอ่านค่าความดันที่ทางเข้าของ line ทุติยภูมิ ซึ่งอาจจะมีค่าความดันต่ำกว่า 0 บาร์เกจ

อุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่ใช้แบบเทอร์โมเวลล์ซึ่งจะติดตั้งทิศทางขวางการไหลคือตั้งฉากกับแนวท่อ โดยการติดตั้งเทอร์โมเวลล์เพื่อให้ได้ผลการวัดที่ดี คือ จะต้องสอดใส่เข้าไปในท่อด้วยขนาดความยาวอย่างน้อย 10 ถึง 15 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวเทอร์โมเวลล์นั่นคือพยายามให้บริเวณปลายของเวลล์ ซึ่งเป็นส่วนที่มีผลต่อการวัดโดยตรง (sensitive portion) อยู่ในบริเวณที่มีอัตราการไหลสูงสุด

Globe Valve ขนาด ½ นิ้ว และ 1 นิ้ว สำหรับ line ของทุติยภูมิ และ ปฐมภูมิตามลำดับใช้สำหรับเป็นอุปกรณ์ปรับอัตราการไหลโดยมวลของ line ทุติยภูมิกับ storage tank และเป็นวาล์วสำหรับปรับลดความดันสำหรับ line ปฐมภูมิ

วอร์เทกมิเตอร์ (vortex meter) ที่ใช้เป็นรุ่น Model YF 100 ของ YOKOGAWA โดยมีลักษณะดังรูปที่ 4.4 ซึ่งนอกจากจะสามารถวัดค่าความเร็วของของไหลได้แล้วยังสามารถแสดงค่าเป็นอัตราการไหลของมวลได้อีกด้วย ซึ่งทำให้สามารถอ่านค่าอัตราการไหลของมวลของแต่ละ steam ได้ทันที ซึ่งในงานวิจัยนี้จะติดตั้ง steam flowmeter จำนวน 2 ตัว ที่ก่อนทางเข้าของ สตีมแต่ละ line และหน่วยที่อ่านค่าได้จะเป็นหน่วย kg/hr หลักการของวอร์เทกมิเตอร์เมื่อของไหลไหลผ่าน flowmeter ที่มี shedding element รูปตัว T ขวางการไหลอยู่จะทำให้เกิดของไหลไหลวน (vortex) ด้านหลังตัว shedding element การเกิดกระแสไหลวนทำให้สามารถทราบความเร็วของการไหลของไหลได้เนื่องจากการเกิดกระแสไหลวนจะสร้างคลื่นความถี่ขึ้นและคลื่นความถี่นี้จะแปรผันโดยตรงกับความเร็วของการไหล ตัวเซ็นเซอร์จะถูกบรรจุอยู่ในตัว shedding element ซึ่งประกอบด้วยไดอะแฟรมที่อยู่รอบนอกเป็นตัวส่งผ่านคลื่นความถี่ไปให้น้ำมันซิลิโคนซึ่งเติมอยู่รอบๆ ผลึก ผลึกจะทำเนิดคลื่นสัญญาณที่มีความถี่เท่ากับ

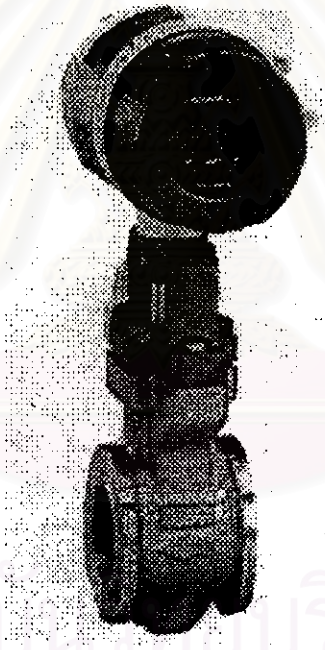
ความถี่ของวอร์เทกซ์ที่เกิดขึ้น ที่ให้รูปคลื่นเป็น pulse ส่งเข้าภาคขยาย เปลี่ยนเป็นสัญญาณค่า flow ต่อไป จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่า shedding frequency จะเป็นสัดส่วนกับความเร็วดังสมการ

$$f = (\text{const})(LU)$$

โดยที่ f = ค่าความถี่

L = characteristic body width

U = ความเร็วที่เข้ามา



รูปที่ 4.4 steam flow meter

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย