

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาองค์ประกอบทางด้านไฮโดรไดนามิก
ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง

**THE HYDRODYNAMIC COMPONENTS THE INFLUENCE
TO DEEP SHAFT WASTE WATER TREATMENT**



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....**82198**
วัน,เดือน,ปี.....**๒-๙ ก.ค. ๒๕๕๐**

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาองค์ประกอบทางด้านไฮโดรไดนามิก
ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง

THE HYDRODYNAMIC COMPONENTS THE INFLUENCE
TO DEEP SHAFT WASTE WATER TREATMENT



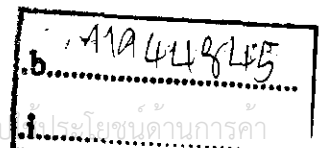
ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไป
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2550

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล


คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาองค์ประกอบทางด้านไฮโดรไดนามิกของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศ
ในแนวตั้ง
(THE HYDRODYNAMIC COMPONENTS THE INFLUENCE TO
DEEP SHAFT WASTE WATER TREATMENT)

ผู้จัดทำ

1. นาย ธีรัฐ มนสิการ รหัสประจำตัว 47010215
2. นาย ธรรมวิทย์ วิถี รหัสประจำตัว 47010327
3. นาย อารักษ์ ยงชยุต รหัสประจำตัว 47010986


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ. มณฑล ใจกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาองค์ประกอบทางด้านไฮโดรไดนามิก
ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง

นาย อนุรักษ์ มนสิการ 47010215
นาย ธรรมวิทย์ วิถี 47010327
นาย อารักษ์ ยงชูยศ 47010986
ผศ.มณฑล ใจกุศล อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

ปฏิญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาองค์ประกอบต่างๆ ทางด้านไฮโดรไดนามิกที่มีผลต่อเครื่อง
บำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง ได้แก่ อัตราส่วนระยะฟองอากาศทางด้าน Riser ต่อ
ระยะฟองอากาศทางด้าน Downcomer (H_r/H_d), อัตราการไหลของอากาศ (Q_a), อัตรา
การไหลของน้ำ (Q_w), ค่าเศษส่วนของช่องว่าง (ϵ) และอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดของด้าน
Downcomer ต่อพื้นที่หน้าตัดทางด้าน Riser (A_d/A_r) และสังเกตว่าฟองอากาศมีลักษณะและ
การเคลื่อนที่อย่างไร จากการศึกษาพบว่าการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) จะทำให้อัตรา
การไหลของน้ำ (Q_w) มากขึ้น ค่าเศษส่วนของช่องว่าง (ϵ) จะมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของอากาศ
(Q_a) เพิ่มขึ้น และสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำ (Q_w) เพิ่มขึ้นเช่นกัน และยิ่งอัตราส่วน
ระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อพื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d/A_r) ยังมีค่า
น้อย จะทำให้อากาศทางด้าน Downcomer สามารถไหลวนได้ดี

THE HYDRODYNAMIC COMPONENTS THE INFLUENCE TO DEEP SHAFT WASTE WATER TREATMENT

Mr. Nut	Manasikarn	47010215
Mr. Tummawit	Withee	47010327
Mr. Arak	Yongchooyos	47010986
Asst. Prof. Monthon Jaikuson	Advisor	

Abstract


This thesis describes the study of the Hydrodynamic components the influence to Deep Shaft Waste Water Treatment Split-cylinder type, Such as the ratio of Riser's hight of bubbles blow point and Downcomer's hight of bubbles blow point (H_r / H_d), air flow rate (Q_a), water flow rate (Q_w), void fraction (ε), the ratio of Downcomer'area and Riser'area (A_d / A_r). Then notice there characteristic and direction of bubbles. The results from this experiment is when air flow rate (Q_a) is risen the water flow rate (Q_w) will increase, void fraction (ε) will increase when the air flow rate (Q_a) is risen and if the ratio of Downcomer'area and Riser'area (A_d / A_r) is less the bubbles in the Downcomer Section can circulate, so well.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อประกอบการเรียนวิชา Project ซึ่งนับว่าเป็นโอกาสอันดีที่ให้นักศึกษาได้นำความรู้ในภาคทฤษฎีมาปฏิบัติ การเป็นการเพิ่มพูนความรู้ และประสบการณ์ให้แก่นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผศ.มณฑล ใจกุศล อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโทเป็นอย่างดี ที่ได้ให้คำแนะนำ และคำปรึกษาเกี่ยวกับการทำโครงการนี้

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูข้าพเจ้ามาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังคงกำลังใจ เอาใจใส่เสมอมาในทุกๆ ด้าน ซึ่งหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดเหลือล้ำ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้



นาย ธีร มนสิการ
นาย ธรรมวิทย์ วิถี
นาย อารักษ์ ยงชูชศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	IVI
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูปกราฟ.....	VIII
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	IX
ตัวห้อยท้าย.....	X
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความนำ.....	1
1.2 ข้อมูลและรายละเอียดของเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวดิ่ง.....	2
1.3 ปัญหาของโครงการ.....	4
1.4 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	4
1.5 ความสำคัญหรือประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการนี้.....	5
1.6 ขอบเขตของการศึกษาโครงการ.....	5
1.7 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินโครงการ.....	5
1.8 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	6
1.9 การสรุปผลการทดลอง.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศโดยทั่วไป	
2.1 ระบบกำจัดน้ำทิ้งด้วยวิธีชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจน.....	7
2.2 ทฤษฎีและวิธีการหาค่าความสัมพันธ์ต่างๆ ทางด้านไฮโดรไดนามิค.....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	
3.1 อธิบายเครื่องมือทดลอง.....	21
3.2 การวัดข้อมูลและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	31
บทที่ 4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการทดลอง	
4.1 ลำดับขั้นการทดลอง.....	33
4.2 ผลการทดลองที่คาดว่าจะได้รับ.....	36
บทที่ 5 ผลการศึกษาและผลการทดลอง	
5.1 ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) กับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a).....	43
5.2 ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) กับค่าอัตราการไหลของอากาศ (Q_a).....	47
5.3 ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) กับอัตราการไหลของน้ำ (Q_w).....	51
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง.....	55
เอกสารอ้างอิง.....	57

สารบัญรูป

เรื่อง

หน้า

รูปที่ 1.1 รูปเปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Conventional Activated Sludge Process และแบบ Deep Shaft Process.....	2
รูปที่ 1.2 ภาพตัดขวางของระบบ Deep Shaft.....	3
รูปที่ 1.3 แสดงความสามารถของการละลายน้ำของฟองอากาศที่ความดันต่างกัน.....	4
รูปที่ 2.1 การสูญเสียพลังงานของของไหลในท่อ.....	17
รูปที่ 3.1 รายละเอียดของท่อเวนจูรี่.....	22
รูปที่ 3.2 สัมประสิทธิ์การคายของเวนจูรี่.....	24
รูปที่ 3.3 แบบจำลองของเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง.....	26
รูปที่ 3.4 ตัวพ่นอากาศ.....	27
รูปที่ 3.5 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor)	27
รูปที่ 3.6 มิเตอร์วัดอัตราการไหลของอากาศ (Air flow meter) แบบมาตรวัดแบบเวนจูรี่ (Venturi meter)	28
รูปที่ 3.7 แผนภาพรวมของอุปกรณ์และเครื่องมือที่ทำการทดลอง.....	29
รูปที่ 3.8 อุปกรณ์การทดลองและเครื่องมือที่ทำการทดลอง.....	30
รูปที่ 3.9 เทคนิคการวัดแบบ Inverted U – Tube Manometer.....	31

สารบัญตาราง

เรื่อง

หน้า

ตารางที่ 1 ทดลองหาความสัมพันธ์ต่างๆเมื่ออัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อพื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d / A_r) เท่ากับ 1.....	39
ตารางที่ 2 ทดลองหาความสัมพันธ์ต่างๆเมื่ออัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อพื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d / A_r) เท่ากับ 0.4.....	40
ตารางที่ 3 ทดลองหาความสัมพันธ์ต่างๆเมื่ออัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อพื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d / A_r) เท่ากับ 0.3.....	41



สารบัญกราฟ

เรื่อง

หน้า

- กราฟที่ 5.1.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) กับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) หรือพลังงานที่ให้ (P_{input}) ที่อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อพื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d / A_r) เท่ากับ 1.....43
- กราฟที่ 5.1.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) กับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) หรือพลังงานที่ให้ (P_{input}) ที่อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อพื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d / A_r) เท่ากับ 0.4...44
- กราฟที่ 5.1.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) กับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) หรือพลังงานที่ให้ (P_{input}) ที่อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อพื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d / A_r) เท่ากับ 0.3...45
- กราฟที่ 5.2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) กับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) หรือพลังงานที่ให้ (P_{input}) ที่อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อพื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d / A_r) เท่ากับ 1.....47
- กราฟที่ 5.2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) กับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) หรือพลังงานที่ให้ (P_{input}) ที่อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อพื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d / A_r) เท่ากับ 0.4...48
- กราฟที่ 5.2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) กับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) หรือพลังงานที่ให้ (P_{input}) ที่อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อพื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d / A_r) เท่ากับ 0.3...49
- กราฟที่ 5.3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) กับอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) ที่อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อพื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d / A_r) เท่ากับ 1.....51
- กราฟที่ 5.3.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) กับอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) ที่อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อพื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d / A_r) เท่ากับ 0.4.....52
- กราฟที่ 5.3.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) กับอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) ที่อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อพื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d / A_r) เท่ากับ 0.3.....53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	พื้นที่หน้าตัดทั้งหมด (m^2)
A_d	พื้นที่หน้าตัดขวางสม่ำเสมอทางด้าน Downcomer (m^2)
A_r	พื้นที่หน้าตัดขวางสม่ำเสมอทางด้าน Riser (m^2)
d	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (m)
g	แรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)
H	ค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศ (m)
h_0	ระยะที่แตกต่างตามแนวตั้งของของเหลวในमानometer ที่ต่อเติมอากาศ (cm)
h_2	ระยะที่แตกต่างตามแนวตั้งของของเหลวในमानometer ที่ท่อน้ำ (cm)
Q_a	อัตราการไหลของอากาศ (m^3/s)
Q_w	อัตราการไหลของน้ำ (m^3/s)
T	อุณหภูมิ (K)
t	เวลา (s)
U_{Ld}	Superficial Liquid Velocity ทางด้าน Downcomer (m/s)
U_{Lr}	Superficial Liquid Velocity ทางด้าน Riser (m/s)
V	ปริมาตร (m^3)
V_a	ปริมาตรอากาศ (m^3)
V_{Ld}	ปริมาตรของของเหลวด้าน Downcomer (m^3)
V_{Lr}	ปริมาตรของของเหลวด้าน Riser (m^3)
V_w	ปริมาตรน้ำ (m^3)
Z_h	ระยะแตกต่างตามแนวตั้งของของไหล (m)
ε	ค่าเศษส่วนช่องว่าง
ρ_G	ความหนาแน่นของก๊าซ (kg/m^3)
ρ_L	ความหนาแน่นของของเหลวในท่อ Deep Shaft (kg/m^3)
ρ_M	ความหนาแน่นของของเหลวในमानometer (kg/m^3)

ตัวห้อยท้าย

dด้าน Downcomer

Gก๊าซ

Lของเหลว

Mมานอมิเตอร์

rด้าน Riser

1.....หน้าตัดที่ 1

2.....หน้าตัดที่ 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา **X** และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

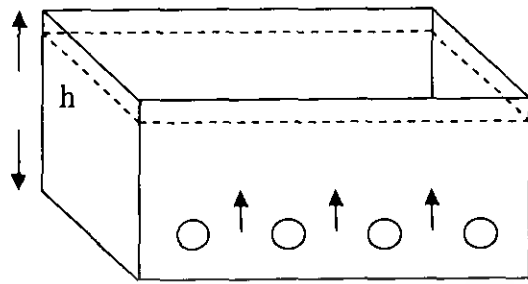
1.1 ความนำ

ในปัจจุบันนี้เรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาที่ต้องได้รับการแก้ไข เรื่องน้ำเสียก็เป็นอีกปัญหาหนึ่งที่สำคัญและขณะนี้ได้รับความสนใจมาก ระบบบำบัดน้ำเสียได้รับการพัฒนา ปรับปรุงและวิจัยตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอโรบิก การเติมออกซิเจนให้น้ำเสียเป็นส่วนที่สำคัญซึ่งอัตราการรับออกซิเจนของน้ำเสียขึ้นอยู่กับพื้นที่สัมผัสของน้ำเสียกับฟองอากาศ และระยะเวลาที่ฟองอากาศสัมผัสกับน้ำเสีย ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Conventional Activated Sludge Process เป็นระบบหนึ่งที่ยอมรับใช้กันมากซึ่งการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีนี้จำเป็นต้องใช้พื้นที่บำบัดน้ำเสียมาก และปัจจุบันนี้ราคาพื้นที่ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑลมีราคาที่ดินสูงขึ้นมา ดังนั้นทำให้การลงทุนสร้างระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Conventional Activated Sludge Process สูงตามด้วย

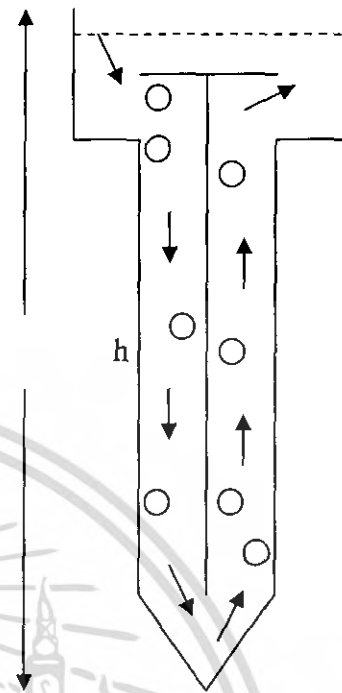
ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Deep Shaft Process เป็นระบบการเติมอากาศโดยใช้พื้นที่ในด้านล่าง จะเป็นท่อลึกตามแนวตั้งมีความยาวประมาณ 40 -150 เมตร ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ Upflow และ Downflow Section จึงทำให้เกิดการหมุนวนของน้ำ อันเป็นผลมาจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหลทางด้าน Upflow และ Downflow Section ซึ่งจากข้อความข้างต้นทำให้ระยะเวลาที่ฟองอากาศสัมผัสกับน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Deep Shaft Process มีมากกว่าแบบ Conventional Activated Sludge Process ซึ่งจะอธิบายต่อไป

CONVENTIONAL AERATION TANK



ความลึก (h) 3 – 5 เมตร

DEEP SHAFT



ความลึก (h) 40 – 150 เมตร

รูปที่ 1.1 รูปเปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Conventional Activated Sludge Process และแบบ Deep Shaft Process

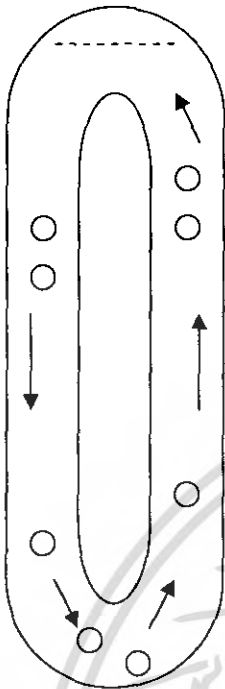
1.2 ข้อมูลและรายละเอียดของเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง

ในอดีตนั้น เครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้งได้รับการพัฒนา โดยบริษัท Imperial Chemical Industries (ICI) ในปี 1975 และมากกว่า 33 ปีแล้วที่ระบบบำบัดน้ำเสียระบบนี้ ได้ใช้กันอย่างกว้างขวางแทบทุกประเทศ ซึ่งระบบบำบัดน้ำเสียระบบนี้จะมีลักษณะและหลักการทำงานดังนี้

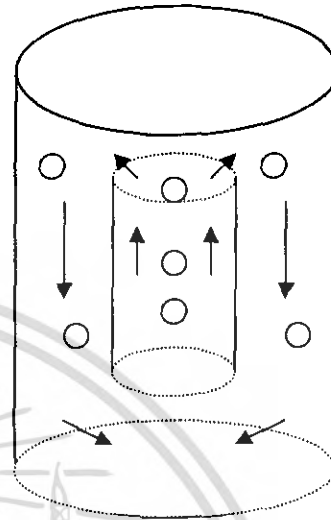
เครื่องเติมฟองอากาศในแนวตั้ง แบ่งได้ 2 แบบ คือ แบบ Internal Loop และ External Loop ดังรูป 1.2 มีลักษณะเป็นท่อลึกตามแนวตั้งประมาณ 40 – 150 เมตร ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ Upflow และ Downflow Section หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Riser Section และ Downcomer Section ซึ่งจะมีการหมุนวนของน้ำ อันเป็นผลมาจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหล หรือความแตกต่างของค่าเศษส่วนช่องว่าง (Void fraction) ทางด้าน Riser Section และ Downcomer Section

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[a] EXTERNAL LOOP



[b] INTERNAL LOOP



รูปที่ 1.2 ภาพตัดขวางของระบบ Deep Shaft

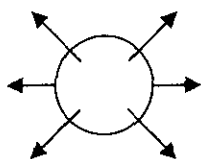
จากลักษณะของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง ที่กล่าวมาแล้วจะทำให้เกิดประโยชน์ทางการใช้พื้นที่ ประสิทธิภาพของการใช้ออกซิเจน สมรรถนะ ค่าใช้จ่ายและผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมดีกว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Conventional Activated Sludge Process ดังต่อไปนี้

1.2.1 พื้นที่

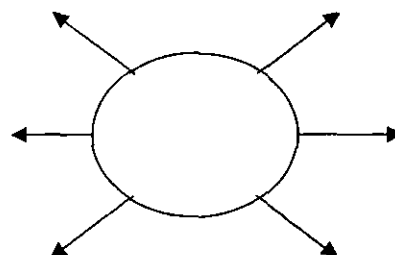
พื้นที่ที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้งจะใช้พื้นที่ตามแนวราบประมาณ 10 – 20 % ของแบบ Conventional Activated Sludge Process

1.2.2 ประสิทธิภาพ

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง จะใช้กำลังงานในการบีบอากาศ น้อยกว่า 25% ของแบบ Conventional Activated Sludge Process พร้อมทั้งมีความสามารถที่จะจ่ายออกซิเจนให้กับน้ำได้มากกว่า เนื่องจากในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง จะมีความลึกของท่อมก ดังนั้นความดันของฟองอากาศมีความสามารถละลายน้ำได้ดี (ดังรูป 1.3)

แบบ Deep Shaft (11 atm)

Maximum DO 97 mg/L (20 °c)
(ที่ระดับความลึก 100 m)

แบบ Conventional (1 atm)

Maximum DO 88 mg/L (20 °c)
(ที่ความดันบรรยากาศ)

รูปที่ 1.3 แสดงความสามารถของการละลายน้ำของฟองอากาศที่ความดันต่างกัน

1.2.3 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง จะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางด้านเสียง กลิ่นและละอองน้ำ

ซึ่งจากรายละเอียดข้างต้นทำให้สรุปได้ว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้งเป็นระบบที่น่าสนใจและน่าศึกษาในการทำวิจัยต่อไป

1.3 ปัญหาของโครงการ

ปัญหาที่น่าสนใจและน่าทำการศึกษาขั้นพื้นฐานที่สำคัญของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้งนั้น ทางด้านไฮโดรไดนามิกที่น่าสนใจคือค่าอัตราส่วนช่องว่างหรืออัตราส่วนของปริมาตรของอากาศต่อปริมาตรของอากาศและของเหลวที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อปรับเปลี่ยนค่าความสูงของจุดปล่อยฟองอากาศ และค่าอัตราเร็วของอากาศ

1.4 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.4.1 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อ พื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d / A_r) กับอัตราส่วนค่าความลึกของจุดพ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟองอากาศทางด้าน Riser ต่อค่าความลึกของจุดฟองอากาศทางด้าน Downcomer (H_r / H_d) ในขณะที่เราควบคุม อัตราการไหลของอากาศ (Q_a) ให้คงที่

1.4.2 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) กับอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) ในขณะที่เราควบคุม อัตราส่วนค่าความลึกของจุดฟองอากาศทางด้าน Riser ต่อค่าความลึกของจุดฟองอากาศทางด้าน Downcomer (H_r / H_d) ไว้คงที่

1.4.3 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) กับค่าอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) ในขณะที่เราควบคุมอัตราส่วนค่าความลึกของจุดฟองอากาศทางด้าน Riser ต่อค่าความลึกของจุดฟองอากาศลักษณะของฟองอากาศทางด้าน Downcomer (H_r / H_d) และอัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อ พื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d / A_r) ให้คงที่

1.5 ความสำคัญหรือประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการนี้

1.5.1 เพื่อจะได้นำความสัมพันธ์ของค่าต่างๆทางด้าน ไฮโดรไดนามิกที่เกิดในแบบจำลองของเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวคิดมาช่วยในการทำนายลักษณะการทำงานที่เกิดขึ้นในระบบจริงได้

1.5.2 จากการศึกษาโครงการครั้งนี้สามารถหาความสัมพันธ์แบบง่ายๆทางด้าน ไฮโดรไดนามิกในเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวคิดได้

1.6 ขอบเขตของการศึกษาโครงการ

ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวคิด ในการสร้างจริงจะมีความลึกมาก ใช้เงินลงทุนที่สูง การทดลองเป็นไปได้ด้วยความยากลำบาก การทดลองในโครงการนี้จึงมีเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง โดยจำลองขนาดและสภาวะให้มีขนาดเล็กลง เพื่อความสะดวกในการทดลอง

1.7 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินโครงการ

1.7.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลและทฤษฎีจากตำราวิชาการหรือเอกสารต่างๆ

1.7.2 สร้างแบบจำลองของเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวคิด แบบ Split-cylinder Type

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7.3 ทำการทดลอง ในการทดลองครั้งนี้จะวัดค่าทางด้านไฮโดรไดนามิก คือ ค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ), ค่าอัตราการไหลของอากาศ (Q_a), อัตราการไหลของน้ำ (Q_w), อัตราส่วนค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Riser ต่อค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศลักษณะของฟองอากาศทางด้าน Downcomer (H_r / H_d) ซึ่งขั้นตอนการทดลองโดยละเอียดจะกล่าวต่อไปในบทที่ 4

1.8 การวิเคราะห์ข้อมูล

เนื่องจากประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการครั้งนี้ ชั้นแรกจะต้องศึกษาค่าต่างๆทางด้านไฮโดรไดนามิก ซึ่งอธิบายไว้ในช่วงแรกแล้ว ต่อไปทำงานวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อจะศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นทางด้านไฮโดรไดนามิกที่มีต่อแบบจำลองเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง

1.9 การสรุปผลการทดลอง

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางด้านไฮโดรไดนามิก ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ทำให้สามารถทำนายผล แนวโน้มต่างๆ ทางด้านไฮโดรไดนามิกในเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้งได้

ทฤษฎีที่เกี่ยวกับเครื่องบำบัดน้ำเสีย แบบเติมฟองอากาศโดยทั่วไป

2.1 ระบบกำจัดน้ำทิ้งด้วยวิธีชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจน

หลักการ

การกำจัดน้ำทิ้งด้วยวิธีชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนมีหลายแบบ เริ่มตั้งแต่ระบบ Oxidation Ponds ที่ง่ายที่สุด อาศัยธรรมชาติมากที่สุดและไม่มีเครื่องจักรอุปกรณ์ใดๆเลย จนถึงระบบ activated sludge ที่ยุ่งยากและใช้เครื่องจักรกลมากที่สุด อย่างไรก็ตามระบบกำจัดต่างๆนี้อาศัยหลักการอันเดียวกัน คือ ใช้แบคทีเรียเป็นตัวกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งด้วยปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจน ดังนั้นระบบกำจัดแต่ละระบบจึงแตกต่างกันตรงวิธีการให้ออกซิเจนแก่แบคทีเรียและการควบคุมปฏิกิริยา

ระบบกำจัดแบบใช้ออกซิเจนจะแบ่งออกได้เป็น 2 พวกใหญ่ๆ คือ

- ก) พวกที่แบคทีเรียให้อยู่ในลักษณะแขวนลอย (suspension) ได้แก่ ระบบ oxidation ponds , aerated lagoons และ activated sludge
- ข) พวกที่แบคทีเรียยึดเกาะกับตัวกลางอย่างหนึ่ง (bacterial bed) ซึ่งอาจอยู่กับที่ (fixed bed) ได้แก่ ระบบ tricking filter หรือเคลื่อนที่ (moving bed) ได้แก่ ระบบ biological discs

ระบบ Oxidation ponds

หลักการระบบ Oxidation ponds เป็นระบบการกำจัดน้ำทิ้งที่ง่ายที่สุดและต้องพึ่งธรรมชาติมากที่สุด ระบบ Oxidation ponds เป็นบ่อดินธรรมชาติหรือบ่อดินคาคด้วยคอนกรีตหรือวัสดุอื่นที่กันการรั่วซึมได้ การกำจัดเป็นแบบต่อเนื่องคือน้ำทิ้งจะไหลเข้าและออกจากบ่อตลอดเวลา ในระหว่างที่น้ำทิ้งอยู่ในบ่อกำจัด แบคทีเรียจะทำลาย BOD ในน้ำด้วยปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจน ออกซิเจนเกือบทั้งหมดที่แบคทีเรียใช้ในการนี้ได้มาจากการสังเคราะห์แสงของอัลจี เนื่องจากอัตราการเติมออกซิเจนนี้ค่อนข้างต่ำ ดังนั้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจึงถูกจำกัดด้วยปริมาณออกซิเจน อัตราเร็วของปฏิกิริยาการทำลาย BOD จึงค่อนข้างช้า ระบบ Oxidation ponds จึงต้องใช้บ่อที่มีขนาดใหญ่กินเนื้อที่มาก เนื่องจากประสิทธิภาพของ Oxidation ponds ขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนที่จะได้จากการสังเคราะห์แสง ระบบกำจัดนี้จึงใช้ได้ผลดีในบริเวณที่มีแสงแดดมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Oxidation ponds แบ่งออกได้เป็น 2 ระบบคือ high rate ponds และ facultative ponds

1. high rate ponds ระบบนี้ใช้บ่อตื้น ความลึกไม่เกิน 0.5 เมตร เพื่อให้แสงแดดส่องทะลุถึงก้นบ่อน้ำทิ้งที่จะนำมากำจัดในบ่อนี้ควรต้องผ่านการกำจัดขั้นต้นแยกตะกอนออกเสียก่อนเพราะบ่อตื้นหากมีตะกอนจะทับถมจนเต็มได้ในเวลาไม่นาน อัลจีในบ่อนี้จะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วเพราะได้รับแสงแดดมาก น้ำทิ้งที่ออกจากบ่อจึงมีสีเขียวขุ่นเพราะมีอัลจีอยู่มาก หากระบายทิ้งลงในแหล่งน้ำจะทำให้เกิดปัญหาน้ำเสียขึ้นได้ จึงต้องนำน้ำทิ้งจากบ่อ high rate มาแยกอัลจีออก ซึ่งอาจทำได้โดยกักน้ำไว้ในบ่อใหญ่เป็นเวลานานเพื่อให้อัลจีตายและตกตะกอนหรือแยกอัลจีออกโดยตกตะกอนด้วยสารเคมี (chemical coagulation) แล้วแยกตะกอนออกโดยใช้ระบบทำให้ลอยหรือใช้ถังตกตะกอน

2. facultative ponds ระบบนี้ใช้บ่อลึกประมาณไม่เกิน 2 เมตร ทำให้แสงแดดส่องลงไปไม่ถึงตลอดความลึก การเจริญเติบโตของอัลจีจึงช้ากว่าในบ่อแบบ high rate น้ำทิ้งที่จะกำจัดไม่จำเป็นต้องตกตะกอนก่อนทำให้เกิดชั้นตะกอนทับถมอยู่กับบ่อ ปฏิกิริยาชีวเคมีเกิดขึ้นในส่วนบนของบ่อเป็นแบบใช้ออกซิเจน ส่วนปฏิกิริยาในส่วนล่างเป็นแบบไม่ใช้ออกซิเจน น้ำทิ้งที่ออกจากบ่อกำจัดแบบ facultative มีอัลจีไม่มากนักไม่จำเป็นต้องกำจัดออก

รายละเอียดของระบบ

1. การจัดรูประบบ โดยทั่วไปแล้วระบบ Oxidation Ponds จะประกอบด้วยบ่อสองหรือสามบ่อเรียงกันเป็นอนุกรม บ่อที่สองและสามจะทำให้ น้ำทิ้งสะอาดยิ่งขึ้น โดยการตกตะกอนอัลจีและลดค่า BOD ต่อไปอีกนอกจากการจัดรูประบบแบบอนุกรมแล้ว ยังอาจจัดรูประบบแบบขนานหรือแบบขนานผสมกับแบบอนุกรมก็ได้

2. การหมุนเวียนของน้ำในระบบ Oxidation Ponds จะมีประสิทธิภาพสูงขึ้นหรือรับปริมาณ BOD ได้มากขึ้นถ้ามีการหมุนเวียนของน้ำในระบบ การหมุนเวียนของน้ำในระบบ Oxidation Ponds อาจเป็นได้หลายแบบ การหมุนเวียนของน้ำทำให้เกิดการผสมในบ่ออย่างทั่วถึงทำให้อัลจีเจริญเติบโตได้เร็วขึ้นและทำลายการแยกชั้นในบ่อ นอกจากนี้ยังเจือจางน้ำทิ้งที่จะเข้าสู่ระบบอีกด้วย การหมุนเวียนของน้ำในระบบ Oxidation Ponds ทำได้โดยใช้เครื่องสูบน้ำที่เหมาะสมที่สุด ได้แก่ เครื่องสูบน้ำแบบใบพัด

3. ท่อน้ำ ท่อน้ำทิ้งที่สูบแรกโดยทั่วไปเป็นท่อเดี่ยว แต่ในกรณีที่มีบ่อใหญ่มากอาจทำให้น้ำทิ้งแผ่กระจายไม่ทั่วบ่อและจะเกิดเน่าตรงบริเวณทางน้ำเข้า จึงควรระบายน้ำเข้าบ่อหลายๆทาง ท่อน้ำสั้นออกจากบ่อก็เช่นกัน อาจจะระบายน้ำออกที่จุดเดียวหรือหลายจุดก็ได้ ท่อที่เชื่อมระหว่างท่อ ควรจะมีหลายท่อเพื่อให้มีน้ำไหลในท่อเพียง 2/3 ถึง 3/4 ของเส้นผ่าศูนย์กลางท่อและความสูญเสียพลังงานสูงสุด (peak head loss) ไม่เกิน 3 - 4 นิ้ว

4. คันดิน คันดินควรต้องบดอัดแน่นเพื่อมิให้รั่วซึม ถ้าจำเป็นจะต้องคาดด้วยคอนกรีตหรือดินซีเมนต์ (Soil cement) ความลาดเอียงของคันดินประมาณ 1 : 2 หรือมากกว่านี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของดิน

5. ความลึก บ่อแบบ high rate จะลึกเพียง 0.30 ถึง 0.45 ม. ส่วนบ่อแบบ facultative จะลึกประมาณ 1 ถึง 2.5 ม.

ระบบ Aerated Lagoons

หลักการระบบ Aerated Lagoons เป็นระบบกำจัดที่ใช้แพร่หลายมากที่สุดระบบหนึ่งในการกำจัดน้ำทิ้งจากชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรงงานกระดาษ โรงงานทอผ้าและโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร ถึงปฏิกิริยาของระบบนี้คือบ่อขนาดใหญ่ที่ลึกไม่น้อยกว่า 2 เมตร ปฏิกิริยาการทำลาย BOD โดยแบคทีเรียจะเร็วกว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระบบ Oxidation Ponds เพราะมีการเติมออกซิเจนด้วยเครื่องมือกล จึงทำให้การเจริญเติบโตของแบคทีเรียไม่จำกัดด้วยการเติมออกซิเจน เช่น ในระบบ Oxidation Ponds เนื่องจากบ่อที่ใช้ในระบบนี้ลึกกว่าบ่อในระบบ Oxidation Ponds มากและปฏิกิริยาการทำลาย BOD เร็วกว่าหลายเท่า สำหรับปริมาณ BOD เท่ากับระบบ aerated lagoons จึงใช้พื้นที่น้อยกว่าระบบ Oxidation Ponds ประมาณ 8 - 10 เท่า

ระบบ aerated lagoons แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

ก) Aerobic lagoons ได้แก่ บ่อที่กำลงเติมเครื่องเติมอากาศ (aerators) พอเพียงที่จะกวนน้ำในบ่ออย่างทั่วถึง จนไม่มีการตกตะกอนเกิดขึ้นในบ่อ ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในบ่อจะเป็นแบบออกซิเจนตลอดความลึก โดยปรกติน้ำทิ้งที่ออกจากบ่อกำจัดแบบนี้ค่อนข้างขุ่นจำเป็นจะต้องแยกตะกอนออกโดยการตกตะกอนในถังตกตะกอนหรือบ่อดกตะกอน

ข) Facultative Lagoons ได้แก่ บ่อที่เครื่องเติมอากาศพอเพียงที่จะให้ออกซิเจนแก่แบคทีเรียตามปริมาณที่ต้องการ แต่ไม่เพียงพอที่จะกวนน้ำในบ่ออย่างทั่วถึง ทำให้เกิดการตกตะกอนในบ่อดกตะกอนจะถูกย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาชีวเคมีแบบไม่ใช้ออกซิเจน เช่น ในระบบ Facultative Oxidation Ponds

ข้อดีของระบบ Aerated lagoons คือการดูแลควบคุมทำได้ง่าย ค่าก่อสร้างต่ำไม่ใช้พื้นที่ดินมากจนเกินไป ไม่มีปัญหาการกำจัดตกตะกอน รับ shock load ได้ดีเพราะมีปริมาณมาก ไม่มีกลิ่นเหม็นและเหตุเดือดร้อนรำคาญอย่างอื่นและประสิทธิภาพสูงพอควร

ระบบ Activated-Sludge

หลักการระบบ Activated-Sludge เป็นระบบกำจัดที่ใช้เครื่องจักรกลมากที่สุด ค่าก่อสร้างและค่าใช้จ่ายในการกำจัดถึงสูงกว่าระบบอื่น ระบบ Activated-Sludge เป็นระบบที่ใช้กันแพร่หลายและเหมาะสมในกรณีพื้นที่ดินมีจำกัดหรือดินที่มีราคาแพงมากและต้องการน้ำทิ้งมีคุณภาพสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบ Activated-Sludge มีแบบปลีกย่อยหลายแบบ แต่ทุกแบบมีหลักการเหมือนกัน กล่าวคือ ระบบจะต้องประกอบด้วยถังปฏิกิริยาซึ่งเป็นถังเติมอากาศ (Aeration Tank) และถังตกตะกอนน้ำทิ้งจะถูกสูบลมเข้าถังเติมอากาศเพื่อทำปฏิกิริยากับแบคทีเรีย อัตราการทำลาย BOD โดยแบคทีเรียจะถูกเร่งให้เร็วขึ้น โดยการเพิ่มทั้งปริมาณออกซิเจนและปริมาณแบคทีเรีย ดังนั้นแบคทีเรียจะทำลาย BOD ในน้ำทิ้งและเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็วปริมาณแบคทีเรียในถังเติมอากาศจะมากจนจับเป็นตะกอนชั้นใหญ่ๆ มีสีน้ำตาลเข้มที่เรียกว่า Activated-Sludge น้ำผสมระหว่างน้ำทิ้งกับตะกอนแบคทีเรียในถังเติมอากาศเรียกว่า Mixed Liquor ในถังเติมอากาศจะมีระบบเติมอากาศเพื่อทำหน้าที่ให้ออกซิเจนแก่แบคทีเรียและกวน Mixed Liquor เพื่อให้ตะกอนแบคทีเรียอยู่ในลักษณะแขวนลอยกระจายไปทั่วถังเติมอากาศหลังจากถูกกักอยู่ในถังเติมอากาศเป็นเวลาหลายชั่วโมง Mixed Liquor จะไหลจากถังเติมอากาศมาเข้าสู่ถังตกตะกอนเพื่อแยกตะกอนแบคทีเรียออก จะได้น้ำทิ้งที่ใสสะอาดและมีค่า BOD ต่ำ ส่วนตะกอนแบคทีเรียที่จมอยู่บนก้นถังตกตะกอนส่วนใหญ่จะถูกสูบเข้าไปถังเติมอากาศ เพื่อรักษาปริมาณแบคทีเรียในถังเติมอากาศให้คงที่ ตะกอนแบคทีเรียส่วนเกินที่เกิดขึ้นจากการเติบโตของแบคทีเรียจะต้องนำไปกำจัด

ระบบ Activated-Sludge แบบต่างๆ

ระบบ Activated-Sludge มีหลายแบบแต่แต่ละแบบแตกต่างกันที่การควบคุมการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและรายละเอียดปลีกย่อยต่างๆ สรุปลักษณะที่สำคัญประสิทธิภาพและการใช้งานของระบบ Activated-Sludge แบบต่างๆ ที่ใช้กันมากได้แก่

1. แบบธรรมดา (Conventional Process) เป็นระบบ Activated-Sludge ที่ใช้กำจัดน้ำทิ้งจากชุมชนที่มีปริมาณมากๆ ลักษณะทางชลศาสตร์ในถังเติมอากาศจะเป็นแบบ Plug Flow น้ำทิ้งและ Activated-Sludge ที่หมุนเวียนกลับมาใช้จะไหลเข้าทางตอนหัวของถังเติมอากาศใช้เวลาในการเติมอากาศประมาณ 6 ชั่วโมง ปริมาณตะกอนหมุนเวียนประมาณ 25 % - 50 % ของปริมาณน้ำทิ้งเนื่องจากการไหลเป็นแบบ Plug Flow ค่า BOD จึงสูงสุดตรงหัวถังเติมอากาศและค่อยๆ ลดลงตามความยาวของถัง ทำให้ความต้องการออกซิเจนมีค่าสูงสุดตรงหัวถังเติมอากาศและค่อยๆ ลดลงตามความยาวของถังเช่นกัน ส่วนอัตราการเติมออกซิเจนนั้น จะมีค่าคงที่ตลอดความยาวของถังเติมอากาศ

2. แบบ Step-Aeration เพื่อไม่ให้ความต้องการออกซิเจนที่หัวถังเติมอากาศมากเกินไป ในระบบ Activated-Sludge แบบนี้น้ำทิ้งจะถูกแบ่งระบายเข้าถังอากาศหลายจุดจะทำให้การให้ออกซิเจนมีประสิทธิภาพสูงขึ้น วิธีนี้ใช้กันแพร่หลายมากในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ Activated-Sludge แบบธรรมดา

3. แบบ High-Rate หลักการเหมือนแบบธรรมดาแต่ต่างกันตรงที่ใช้เวลาในการเติมอากาศสั้นมากประมาณ 1.5 - 3 ชั่วโมง แบคทีเรียจึงทำลาย BOD ได้รวดเร็ว แต่การทดลองตกตะกอนของ Activated-Sludge ไม่ดีจึงทำให้น้ำทิ้งขุ่น ระบบนี้มีประสิทธิภาพในการลดค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BOD ต่ำเพียง 60 % - 70 % เท่านั้น ระบบ High-Rate Activated-Sludge จึงเหมาะสำหรับ กำจัดน้ำทิ้งที่มีค่า BOD ต่ำ

4. แบบ Biosorption หรือ Contact Stabilization ระบบ Activated-Sludge แบบนี้ อาศัยหลักการที่ว่า การลดของค่า BOD ในระบบ Activated-Sludge นั้นแบ่งออกได้เป็น 2 ระยะ คือ ระยะแรกเกิดขึ้นในช่วงเวลา 20 - 40 นาทีแรกเมื่อน้ำทิ้งผสมกับ Activated-Sludge สารอินทรีย์ในน้ำทิ้งก็จะถูกแบคทีเรียดูดซึมเข้าไปในเซลล์อย่างรวดเร็วจึงทำให้ค่า BOD ลดต่ำลง โดยทันที ระยะที่สองแบคทีเรียจะปล่อยน้ำย่อยออกมาทำลายสารอินทรีย์ที่ถูกดูดซึมไว้ สารอินทรีย์ บางส่วนจึงละลายลงไปในน้ำทิ้งทำให้ค่า BOD กลับสูงเพิ่มขึ้นจากนั้นแบคทีเรียก็จะทำลาย สารอินทรีย์ต่อไป จึงทำให้ค่า BOD ลดลง

5. แบบ Complete Mix ลักษณะทางพลศาสตร์ของระบบนี้เป็นแบบ Complete Mix คือ ออกแบบให้น้ำทิ้งและ Activated-Sludge ไหลเข้าถังเติมอากาศสม่ำเสมอตลอดถัง เพื่อให้ Mixed Liquor ในถังเติมอากาศเป็นเนื้อเดียวกันหมด (homogeneous) ทำให้ความต้องการออกซิเจน และอัตราการเติมออกซิเจนเท่ากันทุกจุด ระบบ Complete Mix Activated-Sludge จึงมีเสถียรภาพต่อ Shock loads สูงมากและสามารถกำจัดน้ำทิ้งที่มีค่า BOD สูงประมาณ 5,000 - 10,000 มก / ล ได้

6. แบบ Extended Aeration ระบบ Activated-Sludge แบบนี้ออกแบบให้การ เจริญเติบโตของแบคทีเรียอยู่ใน Endogenous Phase และเวลาในการเติมอากาศนานมาก เพื่อให้ ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงและต้องการให้ Activated-Sludge ส่วนเกินที่ต้องแยกออกมากำจัดมี น้อยที่สุด เพราะต้องการลดค่าก่อสร้างระบบกำจัดตะกอนส่วนเกินแต่เนื่องจากระยะเวลาในการ อากาศนานมาก ถังเติมอากาศจึงต้องมีขนาดใหญ่ ถ้าปริมาณน้ำทิ้งมีมากแล้วผลที่ได้จากการใช้แบบ Extended Aeration เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดตะกอนส่วนเกิน จะไม่คุ้มกับผลเสียที่เกิดขึ้นจาก การที่ต้องใช้ถังเติมอากาศขนาดใหญ่ในสหรัฐอเมริกา พบว่าระบบ AS แบบนี้เหมาะสำหรับกำจัด น้ำทิ้งประมาณไม่เกิน 1 ล้านแกลลอน/วัน

7. แบบ Oxidation-Ditch ระบบ AS แบบนี้โดยแท้จริงแล้วเป็นระบบ Extended Aeration AS แต่แทนที่จะใช้ถังเติมอากาศเป็นถังลึก 3 - 4 เมตร รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเหมือนระบบ AS แบบอื่นๆ จะใช้รูปร่างรีลึกเพียง 1.50 เมตรแทนถังเติมอากาศ เพื่อต้องการให้การก่อสร้างง่าย ดังนั้น Oxidation-Ditch จึงใช้พื้นที่มากกว่าระบบ AS แบบอื่นๆ เหมาะสำหรับการกำจัดน้ำทิ้ง ประมาณไม่มากนักและที่ดินราคาไม่แพงเกินไป ระบบ Oxidation-Ditch นี้วิศวกรชาวดัชชี่ชื่อ Pasveer เป็นผู้คิดค้นขึ้นจึงเป็นระบบที่ใช้กันมากที่สุดในประเทศฮอลแลนด์

8. แบบ Pure Oxygen เป็นระบบ AS ที่ใหม่ที่สุดโดยใช้แก๊สออกซิเจนอัดลงไป ใน Mixed-Liquor โดยตรงแทนที่จะใช้อากาศ ทำให้แบคทีเรียเจริญเติบโตได้เร็วขึ้น Activated-Sludge จมตัวได้ดีมากทำให้สามารถลดขนาดของถังเติมอากาศได้ ปริมาณตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนเกินที่ต้องกำจัดมีน้อยลงและน้ำทิ้งมีออกซิเจนละลายอยู่มาก ข้อเสียก็คือการทำงานของระบบกำจัดยุ่งยากซับซ้อนขึ้น

ระบบ Deep Shaft

ระบบ Deep Shaft หรือ เครื่องเติมฟองอากาศในแนวตั้ง เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมกับพื้นที่ที่มีปริมาณจำกัด นอกจากประโยชน์จากการใช้พื้นที่แล้ว ระบบนี้ยังมีข้อดีต่างๆดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 1 มีลักษณะเป็นท่อลึกตามแนวตั้งประมาณ 40 - 150 เมตร ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ Upflow และ Downflow Section หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Riser Section และ Downcomer Section ซึ่งมีการหมุนเวียนของน้ำ อันผลมาจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหลหรือความแตกต่างของค่าเศษส่วนช่องว่าง (Void Fraction) ทางด้าน Riser Section และ Downcomer Section

ระบบ Deep Shaft แบบ Split-Cylinder

ปฏิกิริยาของระบบนี้เกิดขึ้นจากการแบ่งฟองอากาศในท่อออกเป็น 2 ด้าน ด้วยแผ่นกั้นอลูมิเนียม ซึ่ง โดยแบ่งเป็นด้าน Riser Section และด้าน Downcomer Section

โดยปกติทั่วไป แผ่นกั้นจะมีความกว้างเท่ากับ 0.229 เมตร เพื่อให้อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดทางด้าน Riser Section กับ Downcomer Section เท่ากับ 0.411 ซึ่งจะทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางการเคลื่อนไหลของของเหลวของด้าน Riser Section และด้าน Downcomer Section เท่ากับ 0.19 เมตร และ 0.102 เมตร ตามลำดับ โดยทั่วไปช่องว่างระหว่างแผ่นกั้นกับกันดังที่เกิดปฏิกิริยาจะมีระยะห่างคงที่ที่ 0.102 เมตร

ระบบเติมอากาศแบบฟองอากาศ

ในระบบแบบนี้เครื่องเป่าอากาศ (Air blower Turbo Compressor) จะอัดอากาศความดันต่ำประมาณ 8 - 10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ผ่านไปตามท่ออากาศเข้าสู่เครื่องกระจายอากาศ (Diffusor) ทำให้อากาศกระจายเป็นฟองน้ำลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ ออกซิเจนในฟองอากาศจะถ่ายเทเข้าสู่น้ำทิ้งและฟองอากาศจะทำให้น้ำทิ้งในถังเติมอากาศผสมกันอย่างทั่วถึง โดยทั่วไปประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจน จะสูงขึ้นถ้าฟองอากาศมีขนาดเล็กและลอยขึ้นสู่ผิวน้ำช้าๆ แต่ฟองอากาศเล็กเกินไป ความต้านทานต่อการถ่ายเทออกซิเจนจากฟองอากาศไปยังน้ำทิ้งจะเพิ่มมากขึ้นและถ้าฟองอากาศลอยขึ้นสู่ผิวน้ำช้าเกินไปก็จะทำให้น้ำทิ้งในถังเติมอากาศผสมกันได้ไม่ทั่วถึง

เครื่องกระจายอากาศมีหลายแบบ อาจแบ่งออก 3 ประเภทตามขนาดของฟองอากาศคือ

1) ฟองอากาศขนาดเล็ก (Fine Bubbles) เครื่องเติมฟองอากาศมักเป็นท่อทำด้วยพลาสติกที่มีรูพรุนหรือหุ้มด้วยวัสดุที่มีรูพรุน เครื่องเติมอากาศแบบนี้ต้องการอากาศที่สะอาดปราศจากฝุ่นละอองแสดงเครื่องกระจายอากาศแบบนี้

2) ฟองอากาศขนาดกลาง (Medium Bubbles) เครื่องเติมฟองอากาศมักเป็นท่อที่มีรูเปิด (Orifices) ขนาดไม่ใหญ่นัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ฟองอากาศขนาดใหญ่ (Coarse Bubbles) เครื่องเติมฟองอากาศเป็นท่อตั้งภายในท่อ เป็นเกลียวหรือแผ่นกั้น (Baffles) เพื่อให้อากาศไหลวกไปวนมาอยู่ภายในท่อ จนถูกแรงเฉือน (Shear) ทำให้แตกกระจายเป็นฟอง

เครื่องเป่าอากาศที่ใช้ในระบบเติมอากาศ ไม่ใช่เครื่องอัดลม (Air Compressor) อย่างที่เห็นกันทั่วไป เครื่องอัดลมจะให้อากาศซึ่งมีปริมาณน้อยแต่แรงดันสูง ส่วนเครื่องเป่าอากาศนั้นจะให้อากาศปริมาณมากแต่ความดันต่ำ ซึ่งเท่ากับแรงกดดันของน้ำในถังเติมอากาศรวมกับแรงกดดันที่สูญเสียไปเนื่องจากแรงเสียดทานในระบบท่ออากาศจากตัวเครื่องเป่าอากาศถึงเครื่องกระจายอากาศ โดยทั่วไปความดันที่ต้องการประมาณ 8 ถึง 10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เครื่องเป่าอากาศที่ใช้กันทั่วไป มีสองแบบคือ แบบ Rotary Positive-Displacement แบบ Centrifugal ใช้กันทั่วไปเมื่อต้องการอากาศเกิน 425 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง ทฤษฎีและวิธีการหาค่าความสัมพันธ์ต่างๆ ทางด้านไฮโดรไดนามิก

2.2.1 ไฮโดรไดนามิกของก๊าซ-ของเหลว

พารามิเตอร์ทางด้านไฮโดรไดนามิกของก๊าซ-ของเหลวต่างๆ ในการออกแบบเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบ deep shaft ที่มีความสำคัญ เช่น เศษส่วนช่องว่าง (ε)

2.2.1.1 เศษส่วนช่องว่าง มีความหมายดังนี้

- เป็นอัตราส่วนของปริมาตรของก๊าซต่อปริมาตรทั้งหมดหรือ
- เป็นอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดที่เป็นก๊าซต่อพื้นที่หน้าตัดทั้งหมด

$$\text{ดังนั้น เศษส่วนช่องว่าง} = \varepsilon = \frac{V_G}{V_G + V_L}$$

เมื่อ V_G = ปริมาตรของก๊าซในเครื่องบำบัดน้ำเสีย

V_L = ปริมาตรของของเหลวในเครื่องบำบัดน้ำเสีย

โดยที่เศษส่วนช่องว่างทั้งหมด (ε) จะมีความสัมพันธ์กับเศษส่วนช่องว่างทางด้าน Riser (ε_r) และทางด้าน Downcomer (ε_d) ดังนี้

ปริมาตรทั้งหมดของก๊าซ = ปริมาตรของก๊าซทางด้าน Riser + ปริมาตรของก๊าซทางด้าน Downcomer

$$V_D \cdot \varepsilon = V_{Dr} \cdot \varepsilon_r + V_{Dd} \cdot \varepsilon_d$$

ถ้า $h_{Dr} = h_{Dd} = h_D$

$$h_D (A_r + A_d) \varepsilon = h_{Dr} A_r \varepsilon_r + h_{Dd} A_d \varepsilon_d$$

หรือ $\varepsilon = \frac{A_r \varepsilon_r + A_d \varepsilon_d}{A_r + A_d}$

เมื่อ

h_D = ความสูงการกระจายของก๊าซ-ของเหลวทั้งหมด (m)

h_{Dr} = ความสูงการกระจายของก๊าซ-ของเหลวทางด้าน Riser (m)

h_{Dd} = ความสูงการกระจายของก๊าซ-ของเหลวทางด้าน Downcomer (m)

A_r = ภาคตัดขวางสม่ำเสมอทางด้าน Riser (m²)

A_d = ภาคตัดขวางสม่ำเสมอทางด้าน Downcomer (m²)

ใช้ในกรณีเป็นแบบการหมุนเวียนของของเหลวภายใน และสามารถใช้กับแบบการหมุนเวียนของของเหลวภายนอกเมื่อความสูงการกระจายทางด้าน Riser และทางด้าน Downcomer ใกล้เคียงกัน

ความสำคัญของค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) มีหลายอย่าง เช่น กำหนดระยะเวลาของฟองอากาศในของเหลว, กำหนดอัตราการไหลของน้ำหมุนเวียน เป็นต้น

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่างกับความลึกใดๆ ซึ่งอยู่ในเทอมค่าเศษส่วนช่องว่างที่ความลึกเท่ากับศูนย์ ได้ดังนี้

$$\text{ที่อุณหภูมิใดๆ จาก } P(H=0)V(H=0) = P(H)V(H)$$

$$\text{หรือ } \frac{V(H)}{V_L + V_G} = P(H=0)$$

$$\frac{V(H=0)}{V_L + V_G} = P(H)$$

$$\text{ดังนั้นจะได้ } \frac{\varepsilon(H)}{\varepsilon(H=0)} = \frac{P(H=0)}{P(H)} = \frac{P_{atm}}{P_{atm} + \rho_L g H}$$

2.2.1.2 การหมุนเวียนของของเหลว

การหมุนเวียนของของเหลวนี้เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหลทางด้าน Riser และทางด้าน Downcomer ในการวิเคราะห์การไหลต่อเนื่องของของไหลจะต้องใช้หลักการอนุรักษ์มวลสาร (Conservation of mass) กล่าวคือ มวลสารไม่มีการสูญหายหรือเพิ่มขึ้นได้ แต่มวลสารสามารถเคลื่อนย้ายตำแหน่งได้ เนื่องจากมวลของของไหลไม่มีการสูญหายหรือเพิ่มขึ้น ดังนั้น

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2$$

$$\rho = \text{ความหนาแน่นของของไหล (kg/m}^3 \text{)}$$

$$V_1, V_2 = \text{ความเร็วของของไหลที่ทางเข้าและทางออกตามลำดับ (m/s)}$$

$$A_1, A_2 = \text{พื้นที่หน้าตัดของท่อที่ทางเข้าและทางออกตามลำดับ (m}^2 \text{)}$$

เป็นสมการการไหลต่อเนื่องในกรณีที่มีความหนาแน่นของของไหลทั้งสองด้านไม่เท่ากัน ซึ่งต้องพิจารณาเงื่อนไขที่เกิดขึ้นจริง เช่น อุณหภูมิทั้งสองด้านไม่เท่ากันจะทำให้ความหนาแน่นไม่เท่ากัน ในกรณีที่เป็ของไหลอัดตัวยาก (Incompressible fluid) และอุณหภูมิคงที่ทำให้ของไหลมีความหนาแน่น $\rho_1 = \rho_2$ ดังนั้นจะได้สมการการไหลต่อเนื่องดังนี้

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 = Q$$

โดยที่ Q คือ อัตราการไหล (Discharge) มีมิติ L^3/T หมายถึง ปริมาตรของของไหลที่ผ่านหน้าตัดใดๆ ต่อหน่วยเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วเฉลี่ยของการหมุนเวียน ; $U_{LC} = X_C / t_C$

เมื่อ $X_C =$ ความยาวของการหมุนเวียนครบ 1 รอบ

$t_C =$ เวลาเฉลี่ยสำหรับการหมุนเวียนครบ 1 รอบ

จากความเร็วของของเหลวในการไหลของของเหลวและก๊าซทางด้าน Riser และทางด้าน Downcomer จะได้

$$U_{Lr}A_r = U_{Ld}A_d$$

เมื่อ $U_{Lr} =$ Liquid Velocity ทางด้าน Riser (ms^{-1})

$U_{Ld} =$ Liquid Velocity ทางด้าน Downcomer (ms^{-1})

$A_r =$ พื้นที่หน้าตัดทางด้าน Riser (m^2)

$A_d =$ พื้นที่หน้าตัดทางด้าน Downcomer (m^2)

โดยทั่วไป Superficial Liquid Velocity $= U_L = Q_L / A$

และ Superficial Gas Velocity $= U_G = Q_G / A$

เมื่อ $Q_L =$ อัตราการไหลของของเหลว

$Q_G =$ อัตราการไหลของก๊าซ

$A =$ พื้นที่หน้าตัดทั้งหมด

ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่าง Interstitial Velocity หรือ True Linear Liquid Velocity (V_L) และ Superficial Liquid Velocity (U_L) สามารถใช้แทนกันได้ และในสภาวะจริงนั้น การไหลของของเหลวจะมีบางส่วนเกิดฟองอากาศขึ้นในท่อ ดังนั้นจึงใช้ True Linear Liquid Velocity (V_L) แทน Superficial Liquid Velocity (U_L)

$$V_{Ld} = \frac{U_{Ld}}{(1 - \epsilon_d)}$$

$$V_{Lr} = \frac{U_{Lr}}{(1 - \epsilon_r)}$$

Subscript r = ทางด้าน Riser

Subscript d = ทางด้าน Downcomer

2.2.1.3 สมการของเบอร์นูลลี (Bernoulli)

$$gZ + \frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} = C$$

คือ สมการพลังงานของเบอร์นูลลี ใช้สำหรับเงื่อนไขในการไหลของของไหล ดังนี้

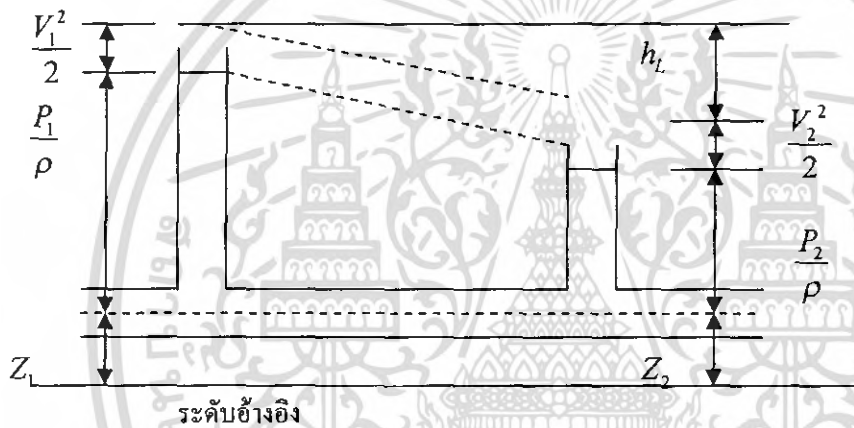
1. ของไหลจินตภาพ (Ideal) คือ ของไหลที่ไม่มีแรงเสียดทานและอัดตัวได้ยาก (Incompressible)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การไหลคงที่ตามเวลา (Steady flow) และเป็นการไหลอย่างต่อเนื่อง
3. การไหลเป็นไปตามเส้นแนวการไหล
4. ความเร็วกระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดหน้าตัดการไหลและมีค่าเท่ากับความเร็วเฉลี่ย
5. แรงที่กระทำต่อของไหลมีเพียงแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity force) และแรงดัน (Pressure force) เท่านั้น

ในกรณีที่มีการสูญเสียพลังงาน เช่น การไหลของของไหลในท่อ การสูญเสียพลังงานในรูปของความสูง h ดังแสดงไว้ในรูปสมการพลังงาน คือ

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gZ_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gZ_2 + h_L$$



รูปที่ 2.1 การสูญเสียพลังงานของของไหลในท่อ

สมการคณิตศาสตร์ของเครื่องเติมฟองอากาศ
สมมติฐานดังนี้

1. การไหลแบบคงที่
2. อุณหภูมิของของเหลวคงที่
3. การไหลสม่ำเสมอของก๊าซกับของเหลวสม่ำเสมอกันในแต่ละพื้นที่หน้าตัด
4. ความหนาแน่นของของเหลวคงที่

จาก กำลังงานที่ใส่ของเครื่อง = กำลังงานสูญเสียของเครื่อง

หรือ $E_i = E_R + E_S + E_B + E_T + E_F + E_D$ วัตต์

เมื่อ $E_B + E_T$ = การสูญเสียพลังงานเนื่องจากความเสียดทานของของไหลทางช่วงล่างและช่วงบนของเครื่อง

$$= \frac{1}{2} \rho_L U_{Ld}^3 K_B A_d (1 - \varepsilon_d)$$

สำหรับเครื่องเติมฟองอากาศ การสูญเสียพลังงานทางช่วงบน จะมีค่าต่ำเมื่อเทียบกับช่วงล่าง

ดังนั้น $E_B + E_T = \frac{1}{2} \rho_L V_{Ld}^3 K_B A_d (1 - \varepsilon_d)$

$$= \frac{1}{2} \rho_L U_{Ld}^3 K_B A_d (1 - \varepsilon_d)$$

$$= \frac{1}{2} \rho_L K_B A_d \frac{(U_{Lr}^3 A_r)^3}{(1 - \varepsilon_d)^2 A_d}$$

$$= \frac{1}{2} \rho_L K_B U_{Lr}^3 A_r^3 \frac{1}{(1 - \varepsilon_d)^2 A_d^2}$$

เมื่อ $K_B = 5.43$

E_F = การสูญเสียพลังงานเนื่องจากการเสียดทานจากผนังท่อ เมื่อมีการไหลสองสถานะ

$= AU_L \Delta P_F$

ซึ่ง $\frac{\Delta P_F}{\Delta Z} = \frac{2C_F(\rho_L U_L - \rho_G U_G)^2}{dP_D}$, $\rho_D = (1 - \varepsilon)\rho_L + \varepsilon\rho_G$

และ $C_F = 0.079 \text{Re}^{-0.25} = 0.079 \left(\frac{\rho_L U_L d (1 - \varepsilon)^{-1}}{\mu_L} \right)^{-0.25}$

E_F = การสูญเสียพลังงานเนื่องจากการเสียดทานจากผนังท่อ เมื่อมีการไหลของของเหลว

$= AU_L \Delta P_F$

$\Delta P_F = \rho_L gh$, $h = \frac{f \Delta h U_L^2}{dg}$

E_i = กำลังงานที่ใส่เนื่องจากการขยายตัวของก๊าซ เมื่ออุณหภูมิคงที่

$E_i = QRT \ln \left(1 + \frac{\rho_L gh_L}{P_{atm}} \right)$

E_R = การสูญเสียพลังงานเนื่องจากการกระจายคลื่นของฟองอากาศในของเหลวทางด้าน Riser

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ของเหลวทางด้าน Riser เป็นปริมาตรควบคุม

จากสมการพลังงาน

$$Q_{CV} - (W_S - W_{Shear} - W_{Other}) = \left(\frac{\partial}{\partial t}\right) \int_{CV} e \rho_L dV + \int_{CS} \left(U_L + \frac{P}{\rho_L} + \frac{U_{Lr}^2}{2} + gZ \right) \rho_L U_{Lr} A_r$$

ซึ่ง Q_{CV} , W_S , W_{Other} , และ $\left(\frac{\partial}{\partial t}\right) \int_{CV} e \rho_L dV$ เท่ากับ 0

และ $W_{Shear} = -E_i + E_R$

จากสมการต่อเนื่อง

$$U_{Lr} A_r = U_{Ld} A_d$$

ดังนั้น U_{Lr} = ค่าคงที่ตลอดหน้าตัดทางด้าน Riser

$$U_{Ld} = \text{ค่าคงที่ตลอดหน้าตัดทางด้าน Downcomer}$$

$$E_i - E_R = \left(U_{L1} + \frac{P_1}{\rho_L} + \frac{U_{Lr1}^2}{2} + gZ_1 \right) (-\rho_L U_{Lr1} A_r) + \left(U_{L2} + \frac{P_2}{\rho_L} + \frac{U_{Lr2}^2}{2} + gZ_2 \right) (\rho_L U_{Lr2} A_r)$$

$$= \left((U_{L2} - U_{L1}) + \frac{(P_2 - P_1)}{\rho_L} + \frac{(U_{Lr2}^2 - U_{Lr1}^2)}{2} \right) + (Z_2 - Z_1)(g)(\rho_L U_{Lr} A_r)$$

$$= \left(\frac{\{P_{atm} - P_{atm} - \sum (1 - \varepsilon_r) \rho_L + \varepsilon_r \rho_G\} (g \Delta h_D) + g h_D}{\rho_L} \right) (\rho_L U_{Lr} A_r)$$

$$= -\sum (1 - \varepsilon_r) \rho_L g \Delta h U_{Lr} A_r - \rho_L g U_{Lr} A_r$$

E_D = การสูญเสียพลังงานเนื่องจากแรงต้านการเคลื่อนที่ของอากาศในของเหลว

ให้ของเหลวทางด้าน Downcomer เป็นปริมาตรควบคุม

จากสมการพลังงาน

$$E_D = -\sum (1 - \varepsilon_d) \rho_L g \Delta h U_{Ld} A_d + \rho_L g h_D U_{Ld} A_d$$

E_S = การสูญเสียพลังงานเนื่องจากการไหลของของไหลผ่านตัวพ่นอากาศ

$$= \frac{1}{2} C_S \rho_L [U_L^3 A_r (1 - \varepsilon_d)]$$

$$C_S = 11.40 \frac{A_r^{0.79}}{A_f^{0.79}}$$

ซึ่งค่าต่างๆจากสมการ ใช้คุณสมบัติตรงช่วงตัวพ่นอากาศ

ส่วน A คือ พื้นที่หน้าตัดที่มีตัวพ่นอากาศบรรจุอยู่

เมื่อ	A_F	=	พื้นที่ว่างสำหรับการไหลของของเหลวผ่านตัวพ่นอากาศ (m^2)
	A_B	=	พื้นที่หน้าตัดของตัวพ่นอากาศ (m^2)
	A_b	=	พื้นที่ว่างช่วง Draught-tube (m^2)
	d	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (m)
	e	=	พลังงานจำเพาะ (J/kg)
	f	=	ตัวประกอบความเสียดทาน (·)
	Δh	=	ช่วงความลึกของของเหลว (m)
	Δh_D	=	ช่วงความลึกของของไหล (m)
	h_D	=	ความสูงของของไหล (m)
	g	=	แรงดึงดูดของโลก (m/s^2)
	K_B	=	ส.ป.ส. การสูญเสียเนื่องจากการเสียดทานช่วงล่าง (-)
	P_h	=	ความดันบรรยากาศ (Pa)
	P	=	ความดันที่กระทำต่อของไหล (Pa)
	Q_a	=	อัตราการไหลของอากาศ (mol/s)
	R	=	ค่าคงที่ของอากาศ (J/K.mol.K)
	T	=	อุณหภูมิของของไหล (K)
	Z	=	ความสูงของของไหล (m)
	μ_L	=	ความหนืดของของเหลว (Pa.s)
	ρ_G	=	ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)
	ρ_L	=	ความหนาแน่นของของเหลว (kg/m^3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.1 อธิบายเครื่องมือทดลอง

ก่อนที่จะกล่าวถึงแบบจำลองของเครื่องเติมฟองอากาศในแนวตั้ง ขอกล่าวรายละเอียดที่ทราบดังนี้

เนื่องจากในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้งนั้นจะมีความสูงที่ใช้จริงประมาณ 40 - 150 เมตร ซึ่งในการทำการทดลอง ถ้าใช้ความสูงที่กล่าวมาแล้ว จะต้องลงทุนในการสร้างสูงมากและเสียเวลาในการสร้าง พร้อมกันนั้นในการทดลองหาค่าต่างๆ ทางด้านไฮโดรไดนามิกอาจจะยุ่งยากและลำบากต่อการวัดค่ามากขึ้นด้วย

แต่อย่างไรก็ตามความสำเร็จของการจำลองแบบในการออกแบบและในการทดลองนั้นจะต้องขึ้นอยู่กับรูปแบบและลักษณะของเครื่องด้วย ที่จะทำให้ค่าต่างๆ ทางด้านไฮโดรไดนามิกมีผลใกล้เคียงกันด้วย ดังนั้นส่วนประกอบในรูปแบบต่างๆ ในเครื่องบำบัดน้ำเสียชนิดนี้จะต้องพยายามทำให้ปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในแบบจำลองนั้นไม่มีผลต่อปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในเครื่องจริง และรูปแบบในการทดลองนั้นจะต้องให้ผลทางด้านไฮโดรไดนามิกได้ใกล้เคียงกับรูปแบบจริงด้วย

ข้อที่ควรคำนึงถึงผลกระทบทางด้านรูปร่างที่มีต่อไฮโดรไดนามิกในการออกแบบจำลองของเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง ในการทดลองมีดังนี้

ในแบบทดลองที่มีขนาดเล็กมากนั้น ผลกระทบทางด้านพื้นผิวและผลกระทบทางด้านขาเข้า - ขาออกของของไหลในแบบจำลองจะมีผลต่อไฮโดรไดนามิกอย่างมาก

แบบจำลองที่มีความสูงไม่เพียงพอที่จะมีผลกระทบด้วย เช่น ผลกระทบของตัวพ่นฟองอากาศที่ติดตั้งในแบบจำลองจะมีขึ้นด้วย และจะมีสัดส่วนตามปรกติตามปริมาณของแบบจำลองในแต่ละแบบ

เนื่องจากในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง ในงานจริงจะมีขนาดใหญ่มากและมีความสูงในการใช้งานจริงประมาณ 40 - 150 เมตร ซึ่งจะมีความยุ่งยากมากถ้าจะใช้นขนาดเท่างานจริง ดังนั้นจึงสร้างแบบจำลองมาให้มีขนาดและความสูงที่พอเหมาะในการทดลองและแบบจำลองนี้ต้องมีผลกระทบต่อค่าไฮโดรไดนามิกน้อยที่สุดที่จะทำได้

3.1.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องมือวัด

3.1.1.1 การวัดอัตราการไหลในท่อ

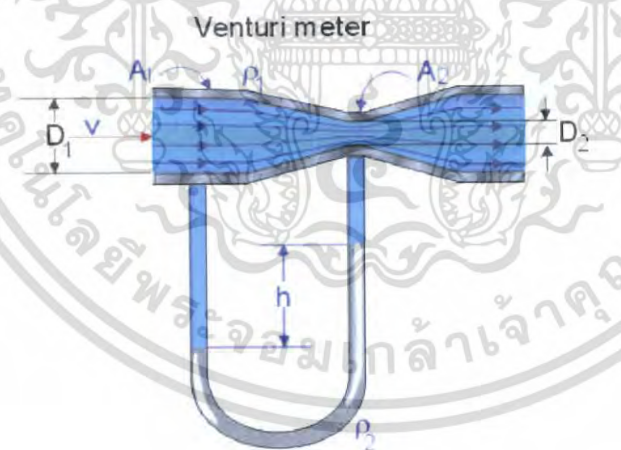
เครื่องมือวัดอัตราการไหลในท่อ ซึ่งในโครงการนี้ใช้วัดอัตราการไหลของอากาศ มีหลายลักษณะด้วยกัน แต่ที่นิยมใช้ในปัจจุบันมี 3 แบบ คือ มาตรวัดแบบรูระบาย (orifice meter), มาตรวัดแบบเวนจูรี (venturi meter), มาตรวัดแบบหัวฉีด (nozzle) ซึ่งในโครงการนี้ใช้มาตรวัดแบบเวนจูรี (venturi meter) ซึ่งมีรายละเอียดดังจะกล่าวต่อไป

มาตรวัดแบบเวนจูรี (venturi meter)

เครื่องมือวัดที่ใช้หลักของความดันแตกต่างกันนั้นจะใช้หลักการที่นำวัตถุมาเกิดขวางทางไหลของของไหล นั่นคือ จะทำให้ความดันทางด้านเข้าและด้านออกไม่เท่ากัน แต่การกระทำดังกล่าวจะมีผลต่อความเร็วในการไหลของวัตถุเหล่านั้น

หลักการทำงานของเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบใช้ความดันแตกต่างกันนี้จะอาศัยทฤษฎีของเบอร์นูลลี ที่กล่าวว่า

ของไหลที่มีอัตราการไหลสม่ำเสมอ (Steady flow) หรือมีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ ที่ปราศจากแรงเสียดทานแล้ว ผลบวกของความเร็ว ความดัน และระดับความแตกต่างของของเหลวในทุกจุดของท่อจะเป็นค่าคงที่



รูปที่ 3.1 รายละเอียดของท่อเวนจูรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อกำหนดให้ V_1 = ความเร็วของของไหลที่จุดทางเข้า
 V_2 = ความเร็วของของไหลที่จุดที่ส่วนลำคอของมาตรวัดแบบเวนจูรี
 P_1 = ความดันที่ไม่แปรเปลี่ยนตามเวลาในทางเข้า
 P_2 = ความดันที่ไม่แปรเปลี่ยนตามเวลาที่ส่วนลำคอของมาตรวัดแบบเวนจูรี
 A_1 = พื้นที่หน้าตัดของท่อในทางเข้า
 A_2 = พื้นที่หน้าตัดของท่อที่ส่วนลำคอของมาตรวัดแบบเวนจูรี
 Z_1 = ระดับความสูง ณ จุดศูนย์กลางของท่อที่ช่องทางเข้า
 Z_2 = ระดับความสูง ณ จุดศูนย์กลางของท่อที่ส่วนลำคอของมาตรวัดแบบเวนจูรี
 g = ค่าความเร่งของแรงโน้มถ่วงของโลก
 ρ = ความหนาแน่นของของไหลภายในท่อ

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gZ_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gZ_2$$

เนื่องจาก $Z_1 = Z_2$ เพราะวางท่อในแนวระดับ; $\rho_1 = \rho_2 = \rho$

นั่นคือ
$$P_1 - P_2 = \frac{V_2^2}{2} \rho \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^2 \right]$$

$$V_2 = C \sqrt{\frac{\frac{2}{\rho} (P_1 - P_2)}{1 - (A_2/A_1)^2}}$$

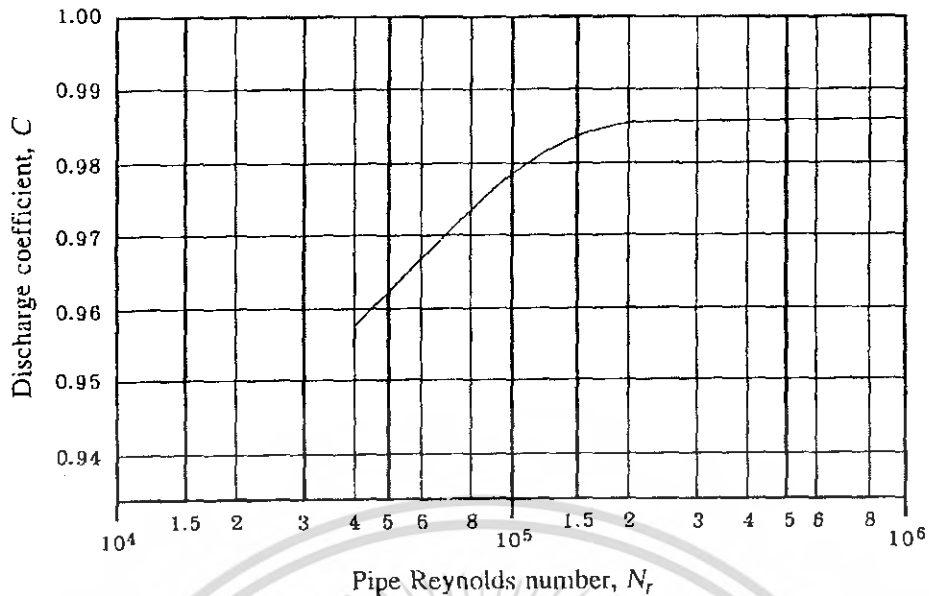
แต่หากของไหลเป็นก๊าซต้องพิจารณาค่าน้ำหนักจำเพาะ (γ) ดังนั้นสมการจึงมีค่าเป็น

$$V_2 = C \sqrt{\frac{\frac{2g}{\gamma} (P_1 - P_2)}{1 - (A_2/A_1)^2}}$$

เมื่อ C = สัมประสิทธิ์การคาย

เนื่องจากสภาพการไหลเป็นการไหลแบบต่อเนื่อง ดังนั้นปริมาณการไหลของของไหลที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดใดๆของท่อจะมีค่าเป็น $Q = A_1 V_1 = A_2 V_2$

ดังนั้น
$$Q = CA_2 \sqrt{\frac{\frac{2g}{\gamma} (P_1 - P_2)}{1 - (A_2/A_1)^2}}$$



รูปที่ 3.2 สัมประสิทธิ์การคายของเวนจูรี

(ASME Research Committee on Fluid Meter. 1959 Fluid Meter : Their Theory and Application. 5ty ed. New York : The American Society of Mechanical Engineering, หน้า 125)

รายละเอียดของมาตรวัดแบบเวนจูรี (venturi meter) ที่ใช้

ลักษณะเด่น

1. ค่าของ Total head , velocity head และ static head แสดงบนกระดานแสดงผล
2. เวนจูรีและท่อลมสามารถมองเห็นได้อย่างครบถ้วน
3. มีการวิเคราะห์ที่มีทั้งปริมาณและคุณภาพ
4. กระชับและฉับไว

ขอบเขตการใช้

1. ผลที่ได้นำมาใช้ในสมการเบอร์นูลลีและกฎอนุรักษ์พลังงาน
2. หาค่าอัตราการไหลโดยใช้วิธีการหาค่าที่ได้จากเวนจูรี
3. หาค่าความเร็วของอากาศโดยใช้วิธีการหาค่าที่ได้จากท่อพิโตค

รายละเอียดของอุปกรณ์

1. มานอมิเตอร์

ขอบเขตการบ่งชี้ของ Total head	0 – 400 มิลลิเมตร
ขอบเขตการบ่งชี้ของ velocity head	0 – 400 มิลลิเมตร
ขอบเขตการบ่งชี้ของ static head	0 – 400 มิลลิเมตร

2. เวนจูรีและท่อลม

มีลักษณะใส มองเห็นได้
ครบถ้วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของส่วนต่างๆ ของเวนจูรี

ทางเข้า (Inlet)	50 มิลลิเมตร
ทางออก (Outlet)	50 มิลลิเมตร
ส่วนลำคอ (Throat)	30 มิลลิเมตร

3.1.1.2 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ (Q_w)

การวัดอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) สามารถวัดได้จากการวัดปริมาตรของน้ำที่ล้นออกมาจากแบบจำลองของเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง แล้วจับเวลา

วิธีการ

เมื่อเติมฟองอากาศให้กับแบบจำลองของเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง น้ำจะล้นออกมา รอจนกว่าอัตราน้ำที่ล้นออกมาสม่ำเสมอ ให้เริ่มจับเวลาพร้อมกับนำถังไปรองรับน้ำที่ล้นออกมาจากแบบจำลองของเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง เมื่อทดลองเสร็จให้นำน้ำในถังรองรับไปวัดปริมาตร แล้วนำมาคำนวณโดยการหาผลหารระหว่างปริมาตรของน้ำล้นกับเวลาที่ใช้ในการทดลอง ก็จะได้อัตราการไหลของน้ำ (Q_w)

3.1.2 แบบจำลองของเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง

แบบจำลองของเครื่องที่ใช้ในการทดลองในเรื่องนี้นับได้ว่าเป็นเครื่องมือที่สำคัญที่สุดในการทดลอง ซึ่งเครื่องนั้นจะมีลักษณะหลายรูปแบบ แต่ในการทดลองในโครงการครั้งนี้จะใช้เครื่องที่มีลักษณะเป็นแบบ Split-cylinder โดยสามารถแบ่งส่วนต่างๆ ของเครื่องออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่เป็น Riser Section และส่วนที่เป็น Downcomer Section โดยทางด้าน Riser Section จะมีตัวพ่นฟองอากาศ ทำหน้าที่ปล่อยฟองอากาศเพื่อทำให้เกิดการหมุนเวียนของเหลวภายในเครื่องบำบัดน้ำเสีย ซึ่งเป็นผลทำให้ไม่ต้องใส่กลไกจากภายนอกแทนตัวพ่นอากาศในการหมุนเวียนของของเหลว พร้อมทั้งจะให้ประสิทธิภาพในการดำเนินงานดีกว่าและในขณะเดียวกันนั้นการปล่อยฟองอากาศยังเป็นการเพิ่มปริมาณก๊าซออกซิเจนให้กับของเหลวอีกด้วย โดยแบบจำลองของเครื่องชนิดนี้ประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.3 แบบจำลองของเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง

3.1.2.1 ตัวถังของเครื่อง

ในการทดลองในโครงการนี้ใช้เครื่องที่มีลักษณะเป็นท่อตรง แบ่งเป็นด้าน Riser Section และด้าน Downcomer Section โดยทางด้าน Riser Section จะมีตัวพ่นฟองอากาศ ทำหน้าที่ปล่อยฟองอากาศเพื่อทำให้เกิดการหมุนเวียนของของเหลวภายในตัวถังของเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง ซึ่งท่อนี้เป็นท่อตรงทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เมตร สูง 2.5 เมตร ทำมาจากวัสดุที่เป็นไฟเบอร์เรซิน

3.1.2.2 ตัวพ่นอากาศ

ตัวพ่นอากาศจะทำหน้าที่พ่นฟองอากาศให้กับของเหลว เพื่อจะทำให้เกิดการไหลเวียนของของไหลในระบบ โดยที่ตัวพ่นฟองอากาศนี้ทำมาจากท่อ PVC ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อตรงลงไปแล้วตรงส่วนปลายแยกออกเป็น 2 ด้าน โดยมีการเจาะรูที่ปลายทั้ง 2 ด้าน รวมกันทั้งหมด 38 รู มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูละ 1.5 มิลลิเมตร

โดยระดับตัวพ่นอากาศนี้จะต่อกับเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) ซึ่งตัวพ่นอากาศควรจะสูงกว่าช่วงด้านล่างของเครื่องระหว่างด้าน Riser Section และด้าน Downcomer Section เล็กน้อย

เนื่องจากถ้าตัวพ่นฟองอากาศอยู่ตรงช่วงต่อหรือต่ำกว่าระหว่างด้าน Riser Section และ Downcomer Section นี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้าน Downcomer Section จะเป็นผลทำให้เกิดการรวมตัวกันของฟองอากาศมากขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดการขัดขวางการไหลของของเหลว



รูปที่ 3.4 ตัวพ่นอากาศ

3.1.2.3 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor)

ในการเลือกเครื่องอัดอากาศสำหรับการทดลองครั้งนี้ เครื่องอัดอากาศต้องมีกำลังที่เพียงพอที่จะสามารถปั๊มอากาศเพื่อให้ฟองอากาศแก่ของเหลวที่นำมาทดลองนั้นได้ โดยระหว่างเครื่องอัดอากาศกับตัวพ่นอากาศจะมีมอเตอร์วัดอัตราการไหลของอากาศ และจะมีวาล์วเพื่อสามารถปรับอัตราการไหลของอากาศได้ตามต้องการ



รูปที่ 3.5 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.4 มิเตอร์วัดอัตราการไหลของอากาศ (Air flow meter)

มิเตอร์ที่ใช้วัดอัตราการไหลของอากาศในการทดลองครั้งนี้ใช้เป็นแบบมาตรวัดแบบเวนจูรี (venturi meter) ซึ่งจะติดตั้งอยู่ระหว่างตัวพ่นอากาศและเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor)



รูปที่ 3.6 มิเตอร์วัดอัตราการไหลของอากาศ (Air flow meter)
แบบมาตรวัดแบบเวนจูรี (venturi meter)

3.1.2.5 ถังพักน้ำ

สำหรับพักน้ำที่จะเติมเข้าไปในแบบจำลองของเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศใน
แนวตั้ง

3.1.2.6 มานอมิเตอร์

ใช้มานอมิเตอร์สำหรับวัดผลต่างความดันของน้ำในท่อ 2 อัน และใช้สำหรับวัดผลต่าง
ความดันต่อลมอีก 1 อัน

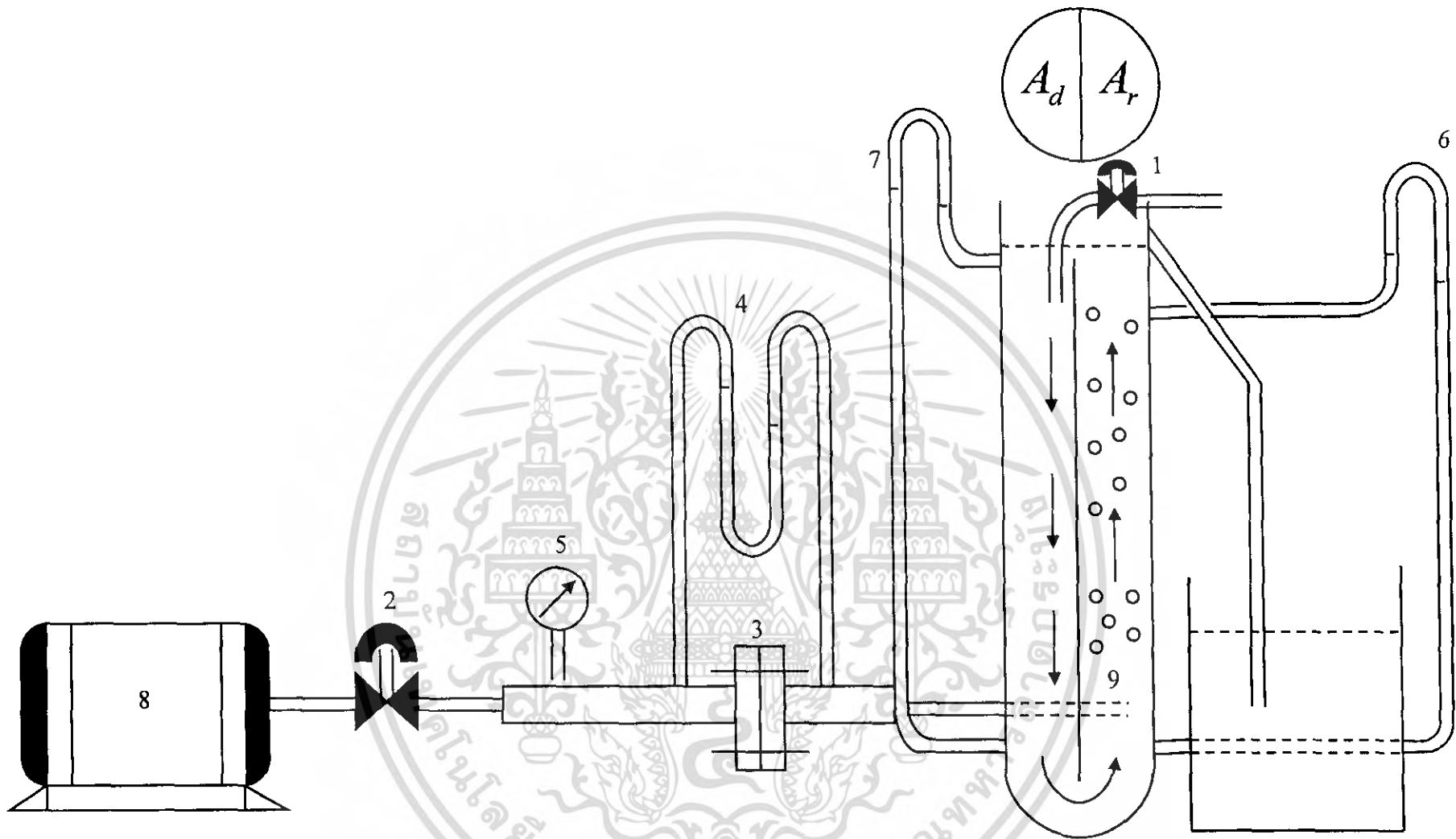
3.1.2.7 นาฬิกาจับเวลา

สำหรับจับเวลาที่ใช้ในการรองรับน้ำที่ล้นออกมาจากแบบจำลองของเครื่องบำบัดน้ำเสีย
แบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง

3.1.2.8 ถังรับน้ำ

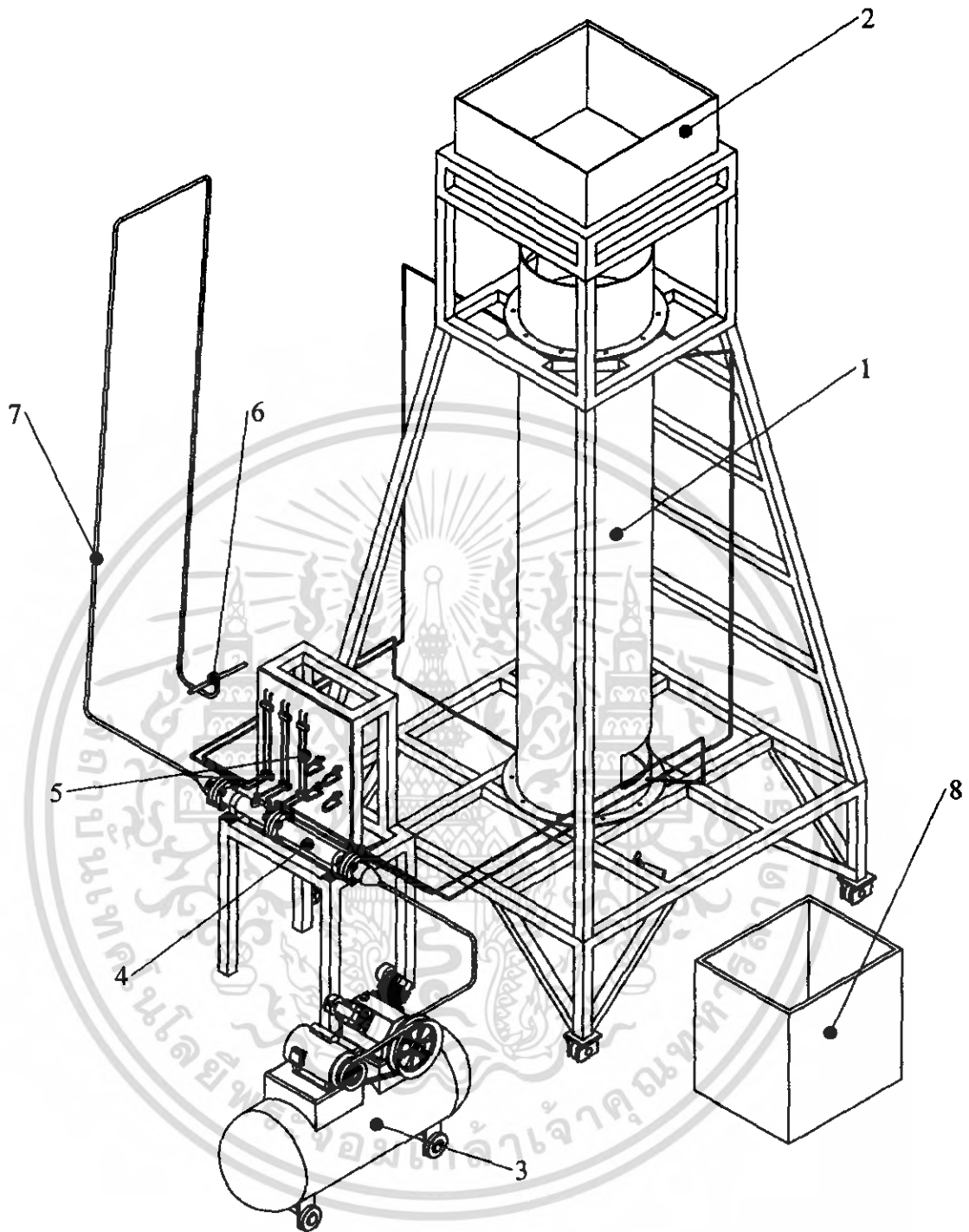
สำหรับรับน้ำที่ล้นออกมาจากแบบจำลองของเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศใน
แนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- | | | |
|---|-----------------------------------|---------------------------------------|
| 1. วาล์ว | 4. มานอมิเตอร์ที่ท่อลม | 7. มานอมิเตอร์ที่ท่อน้ำด้าน Downcomer |
| 2. เรกกูเลเตอร์ | 5. มิเตอร์วัดความดัน | 8. เครื่องอัดอากาศ |
| 3. เวนจูรีมิเตอร์วัดอัตราการไหลของอากาศ | 6. มานอมิเตอร์ที่ท่อน้ำด้าน Riser | 9. ตัวพ่นอากาศ |

รูปที่ 3.7 แผนภาพรวมของอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ทำการทดลอง



รูปที่ 3.8 อุปกรณ์การทดลองและเครื่องมือที่ทำการทดลอง

- | | |
|--|----------------|
| 1. เครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง | 6. ตัวพ่นอากาศ |
| 2. ถังพักน้ำ | 7. สายยาง |
| 3. เครื่องอัดอากาศ | 8. ถังรับน้ำ |
| 4. เวนจูร์มิเตอร์วัดอัตราการไหลของอากาศ | |
| 5. มานอมิเตอร์ | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

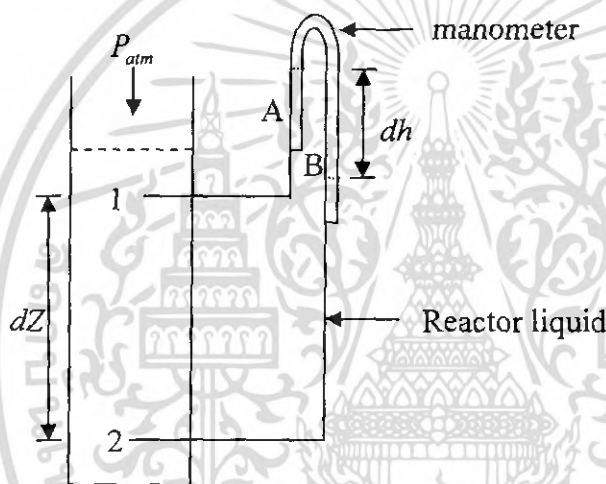
3.2 การวัดข้อมูลและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

การวัดข้อมูลเพื่อหาค่าต่างๆ ทางด้านไฮโดรไดนามิกนั้นจำเป็นจะต้องวัดค่าที่สำคัญ ซึ่งเมื่อทำการวัดค่าต่างๆ เสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงค่อยคำนวณหาค่าต่างๆ ที่จะต้องใช้เพื่อการวิเคราะห์ต่อไป

3.2.1 ค่าเศษส่วนช่องว่าง

ค่าเศษส่วนช่องว่างที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้จะใช้เทคนิคการวัดแบบ Manometric Technique โดยเครื่องมือที่ใช้วัดนั้นเป็นแบบ Inverted U – Tube Manometer โดยจะติดตั้งมาโนมิเตอร์ไว้นอกท่อทางด้าน Riser Section โดยวิธีการวัดค่าเศษส่วนช่องว่าง จะมีการคำนวณตามสมการต่อไปนี้

ค่าเศษส่วนช่องว่างเฉลี่ยระหว่างจุด 1 และจุด 2 ของท่อ



รูปที่ 3.7 เทคนิคการวัดแบบ Inverted U – Tube Manometer

จะได้สมการการหาค่าเศษส่วนช่องว่างดังต่อไปนี้

พิจารณาที่ท่อมานอมิเตอร์ จากสมดุลความดัน

$$P_1 \text{ วัดจากมานอมิเตอร์ด้าน A} = P_2 \text{ วัดจากมานอมิเตอร์ด้าน B}$$

$$P_A + \rho_L g \left(\frac{dh}{2} \right) + \rho_D g dZ = P_B + \rho_L g \left[\left(\frac{dh}{2} \right) + dZ \right]$$

เมื่อ $P_A = P_B$ จะได้

$$\rho_D dZ = \rho_L (Z - dh)$$

$$\rho_D = \rho_L \left(1 - \frac{dh}{dZ} \right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\rho_L - \rho_D = \rho_L \left(\frac{dh}{dZ} \right)$$

จาก $\rho_D = (1-\varepsilon)\rho_L + \varepsilon\rho_G$

จะได้ $\rho_L - (1-\varepsilon)\rho_L - \varepsilon\rho_G = \rho_L \left(\frac{dh}{dZ} \right)$

$$\varepsilon = \frac{\rho_L \left(\frac{dh}{dZ} \right)}{\rho_L - \rho_G}$$

เมื่อ

ρ_G = ความหนาแน่นของอากาศ (kg/ m³)

ρ_L = ความหนาแน่นของของเหลวในมานอมิเตอร์ (kg/ m³)

ρ_D = ความหนาแน่นเฉลี่ยของของเหลวในท่อด้าน Riser (kg/m³)

dZ = ระยะที่แตกต่างตามแนวตั้งของของไหล (m)

dh = ระยะที่แตกต่างตามแนวตั้งของของเหลวในมานอมิเตอร์ (m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ขั้นตอนและวิธีดำเนินการทดลอง

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

1. ค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε)
2. อัตราการไหลของอากาศ (Q_a)
3. อัตราการไหลของน้ำ (Q_w)
4. อัตราส่วนค่าความลึกของจุดพ้นฟองอากาศทางด้าน Riser ต่อค่าความลึกของจุดพ้นฟองอากาศลักษณะของผองอากาศทางด้าน Downcomer (H_r / H_d)
5. P_{input} คือ พลังงานที่ให้

4.1 ลำดับขั้นการทดลอง

4.1.1 ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) กับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a)

- 4.1.1.1 ตรวจสอบอุปกรณ์ทุกชิ้นให้อยู่ในสภาพพร้อมสำหรับการทดลอง
 - ก. สวิตช์ของเครื่องอัดอากาศและวาล์วน้ำยังปิดอยู่
 - ข. วาล์วปรับอัตราการไหลของอากาศและของน้ำยังปิดอยู่
 - ค. ตรวจสอบระดับของของเหลวในเครื่อง Deep Shaft ให้ได้ตามระดับที่กำหนด
 - ง. ตรวจสอบระดับของของเหลวในถังพักให้ได้ระดับตามที่กำหนด เมื่ออุปกรณ์ทุกชิ้นพร้อมแล้ว ให้เริ่มทำการทดลองดังนี้

4.1.1.2 ในครั้งแรกกำหนดให้อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อ พื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d / A_r) เท่ากับ 1

4.1.1.3 จัดอัตราส่วนค่าความลึกของจุดพ้นฟองอากาศทางด้าน Riser ต่อค่าความลึกของจุดพ้นฟองอากาศทางด้าน Downcomer (H_r / H_d) ให้อยู่ในระบะที่กำหนด

4.1.1.4 เปิดสวิตช์ของเครื่องปั๊มอากาศให้ทำงาน แล้วรอนจนกระทั่งอัดอากาศเต็มที่

4.1.1.5 ปรับวาล์วอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) ให้ได้อัตราการไหลตามที่กำหนด

4.1.1.6 เปิดวาล์วน้ำ เพื่อรักษาอัตราการไหลของน้ำที่เข้าและออกจากเครื่อง Deep Shaft ให้มีค่าเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.7 เมื่อระบบเข้าสู่สมดุล ทำการบันทึก อัตราการไหลของน้ำ (Q_w) อัตราส่วนค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Riser ต่อค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Downcomer (H_r/H_d) และอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) พร้อมทั้งปล่อยอากาศที่อัตราการไหลด้าน Downcomer เท่ากับ 5.33×10^{-5} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เพื่อดูลักษณะการไหลวนของอากาศด้าน Downcomer

4.1.1.8 ในการทดลองนี้กำหนดให้อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อ พื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d/A_r) เท่ากับ 1 แล้วทำการเปลี่ยนอัตราส่วนค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Riser ต่อค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Downcomer (H_r/H_d) และอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) ไปเรื่อยๆ ตามที่กำหนด

4.1.1.9 ทำการทดลองซ้ำจากข้อ 4.1.1.1 - 4.1.1.8 โดยเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อ พื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d/A_r) ให้อยู่ในอัตราส่วน 0.4, 0.3 ตามลำดับ

4.1.1.10 ทำการทดลองจนครบตามที่กำหนด แล้วปิดสวิทช์และวาล์วต่างๆให้เรียบร้อย

4.1.1.11 นำค่าที่ได้จากการทดลอง มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) กับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a)

4.1.2. ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) กับค่าอัตราการไหลของอากาศ (Q_a)

4.1.2.1 ตรวจสอบอุปกรณ์ให้พร้อมสำหรับการทดลองตาม ข้อ 4.1.1.1ก - 4.1.1.1ง แล้วเริ่มทำการทดลองดังนี้

4.1.2.2 ในครั้งแรกกำหนดให้อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อ พื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d/A_r) เท่ากับ 1

4.1.2.3 จัดอัตราส่วนค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Riser ต่อค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Downcomer (H_r/H_d) ให้อยู่ในระบะที่กำหนด

4.1.2.4 เปิดสวิทช์ของเครื่องปั๊มอากาศให้ทำงาน แล้วรอนจนกระทั่งอัดอากาศเต็มที

4.1.2.5 ปรับวาล์วปรับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) ให้ได้ตามกำหนด

4.1.2.6 เปิดวาล์วน้ำ เพื่อรักษาอัตราการไหลของน้ำที่เข้าและออกจากเครื่อง Deep Shaft ให้มีค่าเท่ากัน

4.1.2.7 เมื่อระบบเข้าสู่สมดุล ทำการบันทึกค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) กับ อัตราการไหลของอากาศ (Q_a) และอัตราส่วนค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Riser ต่อค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Downcomer (H_r / H_d)

4.1.2.8 ทำการเปลี่ยนอัตราส่วนค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Riser ต่อค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Downcomer (H_r / H_d) และอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) ไปเรื่อยๆ ตามที่กำหนด

4.1.2.9 ทำการทดลองซ้ำจากข้อ 4.1.2.1 - 4.1.2.8 โดยเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อ พื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d / A_r) ให้อยู่ในอัตราส่วน 0.4, 0.3 ตามลำดับ

4.1.2.10 ทำการทดลองจนครบตามที่กำหนด แล้วปิดสวิทช์และวาล์วต่างๆให้เรียบร้อย

4.1.2.11 นำค่าที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) กับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a)

4.3 ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) กับค่าอัตราการไหลของน้ำ (Q_w)

4.1.3.1 ตรวจสอบอุปกรณ์ให้พร้อมสำหรับการทดลองตาม ข้อ 4.1.1.1ก - 4.1.1.1ง แล้วเริ่มทำการทดลองดังนี้

4.1.3.2 ในครั้งแรกกำหนดให้อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อ พื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d / A_r) เท่ากับ 1

4.1.3.3 จัดอัตราส่วนค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Riser ต่อค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Downcomer (H_r / H_d) ให้อยู่ในระบะที่กำหนด

4.1.3.4 เปิดสวิทช์ของเครื่องปั๊มอากาศให้ทำงาน แล้วรอนจนกระทั่งอัดอากาศเต็มที่

4.1.3.5 ปรับวาล์วปรับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) ให้ได้ตามที่กำหนด

4.1.3.6 เมื่อระบบเข้าสู่สมดุล ทำการบันทึกค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε), อัตราการไหลของน้ำ (Q_w) และอัตราส่วนค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Riser ต่อค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Downcomer (H_r / H_d)

4.1.3.7 คำนวณค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) แล้วบันทึกไว้

4.1.3.8 ทำการเปลี่ยนอัตราส่วนค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Riser ต่อค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Downcomer (H_r / H_d) และอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) ไปเรื่อยๆ ตามที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3.9 ทำการทดลองซ้ำจากข้อ 4.1.3.1 – 4.1.3.8 โดยเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อ พื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d / A_r) ให้อยู่ในอัตราส่วน 0.4, 0.3 ตามลำดับ

4.1.3.10 ทำการทดลองจนครบตามที่กำหนด แล้วปิดสวิทช์และวาล์วต่างๆให้เรียบร้อย

4.1.3.11 นำค่าที่ได้จากการทดลอง มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) กับอัตราการไหลของน้ำ (Q_w)

4.2 ผลการทดลองที่คาดว่าจะได้รับ

4.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) กับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a)

จากการที่เรา ปล่องฟองอากาศเข้าสู่ระบบทำให้เกิดการหมุนวนของน้ำ เนื่องจากเมื่ออัตราการไหลของอากาศ (Q_a) เพิ่มขึ้นจะทำให้ ปริมาณอากาศในคาน Riser มีมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นเฉลี่ยทางด้าน Riser ลดลง น้ำจากทางด้าน Downcomer จึงไหลเวียนมาแทนที่เนื่องจากความหนาแน่นที่แตกต่างกัน จากทฤษฎีกลศาสตร์ของไหล ของไหลจะไหลจากที่ที่มีความหนาแน่นสูงไปที่ที่มีความหนาแน่นต่ำกว่า ซึ่งเราจะได้อัตราการไหลของน้ำ (Q_w) ค่าหนึ่งเมื่อกำหนดให้อัตราการไหลของอากาศ (Q_a) คงที่ที่ค่าหนึ่ง และอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) น่าจะสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของอากาศ (Q_a) มีค่ามากขึ้น และจาก $Q = VA$ ถ้าเราเปลี่ยนค่าอัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อ พื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d / A_r) เมื่อพื้นที่หน้าตัดในการไหลเปลี่ยนไปจะทำให้ความเร็วของน้ำเปลี่ยนไปด้วย และการที่เราเปลี่ยน อัตราส่วนค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Riser ต่อค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Downcomer (H_r / H_d) ในอัตราส่วนที่ H_r มากขึ้น จะทำให้ความเร็วของน้ำสูงขึ้น เนื่องจากอากาศมีเวลาในการพ่นน้ำไหลขึ้นนานกว่าเดิม และมีการขยายตัวที่มากขึ้นเนื่องจาก H_r มากขึ้นทำให้อากาศที่ออกมา มีขนาดเล็กเนื่องจากความดันที่สูงขึ้น

4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) กับค่าอัตราการไหลของอากาศ (Q_a)

$$\text{จากความสัมพันธ์ } \varepsilon = \frac{V_G}{V_G + V_L}$$

เมื่อเราเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) ทำให้ค่าปริมาตรของอากาศ (V_G) มากขึ้น ขณะที่ปริมาตรของอากาศ (V_G) เพิ่มขึ้นก็จะไปแทนที่ปริมาตรน้ำ (V_L) ทำให้ปริมาตรของน้ำลดลง จากสมการข้างต้นทำให้ค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) มากขึ้น เพราะฉะนั้นถ้าเราเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) ค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) น่าจะเพิ่มขึ้น

4.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) กับค่าอัตราการไหลของน้ำ (Q_w)

เนื่องจากเมื่ออัตราการไหลของอากาศ (Q_a) เพิ่มขึ้นจะทำให้ ปริมาณอากาศในด้าน Riser มีมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นเฉลี่ยทางด้าน Riser ลดลง น้ำจากทางด้าน Downcomer จึงไหลเวียนมาแทนที่เนื่องจากความหนาแน่นที่แตกต่างกัน จากทฤษฎีกลศาสตร์ของไหล ของไหลจะไหลจากที่ที่มีความหนาแน่นสูงไปที่ที่มีความหนาแน่นต่ำกว่า เพราะฉะนั้นอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) น่าจะสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของอากาศ (Q_a) มีค่ามากขึ้น และ

$$\text{จากความสัมพันธ์ } \varepsilon = \frac{V_G}{V_G + V_L}$$

เมื่ออัตราการไหลของอากาศ (Q_a) เพิ่มขึ้นค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) น่าจะเพิ่มขึ้นด้วย เพราะฉะนั้นค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) น่าจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำ (Q_w) สูงขึ้น



บทที่ 5

ผลการศึกษาและผลการทดลอง

การทดลองเรื่องการนำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้งแบบ Split-cylinder type โดยสามารถแบ่งส่วนต่างๆ ของเครื่องออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่เป็น Riser Section และส่วนที่เป็น Downcomer Section ซึ่งเป็นท่อตรงทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เมตร สูง 2.5 เมตร ทำมาจากวัสดุที่เป็นไฟเบอร์เรซิน

ซึ่งการทดลองได้ทำการทดลองเพื่อหาการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ทางด้านไฮโดรไดนามิกต่างๆดังนี้

1. ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) กับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a)
2. ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) กับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a)
3. ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) กับอัตราการไหลของน้ำ (Q_w)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$A_d/A_r=1$	ΔH_{air} (cm)	ΔH_r (cm)	ΔH_d (cm)	$Q_w \times 10^{-4}$ (m ³ /s)	ε	$Q_a \times 10^{-3}$ (m ³ /s)	P_{input} (kW)
H_{r1}/H_d	0.5	20.2	19.2	4.1	0.1044	4.93	1.516
	0.55	20.2	19.4	4.13	0.1049	5.17	1.593
	0.6	20.2	19.7	4.16	0.1057	5.40	1.664
	0.65	20.9	20.1	4.25	0.1086	5.62	1.732
	0.7	21.7	20.5	4.49	0.1118	5.83	1.797
H_{r2}/H_d	0.5	13.8	11.7	4.06	0.0675	4.93	1.516
	0.55	14.5	12.5	4.09	0.0715	5.17	1.593
	0.6	15.3	13.3	4.11	0.0757	5.40	1.664
	0.65	15.6	13.8	4.15	0.0779	5.62	1.732
	0.7	16	14.4	4.22	0.0803	5.83	1.797
H_{r3}/H_d	0.5	9	6.9	3.89	0.0422	4.93	1.516
	0.55	9.3	7.6	3.96	0.0448	5.17	1.593
	0.6	9.6	8.4	4.05	0.0476	5.40	1.664
	0.65	9.7	8.4	4.06	0.048	5.62	1.732
	0.7	9.9	8.6	4.08	0.0489	5.83	1.797
H_{r4}/H_d	0.5	1.5	0.6	3.56	0.0056	4.93	1.516
	0.55	2.1	1.3	3.63	0.0090	5.17	1.593
	0.6	2.5	1.8	3.76	0.0114	5.40	1.664
	0.65	2.7	2.2	3.9	0.0129	5.62	1.732
	0.7	2.9	2.3	4.08	0.0137	5.83	1.797

ตารางที่ 1 ทดลองหาความสัมพันธ์ต่างๆเมื่ออัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน
Downcomer ต่อพื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser A_d/A_r เท่ากับ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$A_d/A_r=0.4$	ΔH_{air} (cm)	ΔH_r (cm)	ΔH_d (cm)	$Q_w \times 10^{-4}$ (m ³ /s)	ε	$Q_o \times 10^{-3}$ (m ³ /s)	P_{input} (kW)
H_{r1}/H_d	0.5	17.3	17.2	3.76	0.0915	4.93	1.516
	0.55	17.8	17.4	3.81	0.0937	5.17	1.593
	0.6	18.2	17.8	3.9	0.0959	5.40	1.664
	0.65	19.6	19.3	3.97	0.1035	5.62	1.732
	0.7	21	20.7	4.07	0.1109	5.83	1.797
H_{r2}/H_d	0.5	13.8	13.3	3.71	0.0742	4.93	1.516
	0.55	14.1	14	3.763	0.0746	5.17	1.593
	0.6	14.5	14.6	3.84	0.077	5.40	1.664
	0.65	15.2	15.4	3.64	0.0809	5.62	1.732
	0.7	15.8	16.1	3.22	0.0842	5.83	1.797
H_{r3}/H_d	0.5	6.1	6.8	3.64	0.0333	4.93	1.516
	0.55	5.9	7	3.67	0.0329	5.17	1.593
	0.6	5.7	7.3	3.72	0.0326	5.40	1.664
	0.65	7	8.4	3.74	0.0392	5.62	1.732
	0.7	8.4	9.6	3.79	0.0463	5.83	1.797
H_{r4}/H_d	0.5	6.1	6.8	3.64	0.0049	4.93	1.516
	0.55	5.9	7	3.67	0.0074	5.17	1.593
	0.6	5.7	7.3	3.72	0.0091	5.40	1.664
	0.65	7	8.4	3.74	0.0105	5.62	1.732
	0.7	8.4	9.6	3.79	0.0121	5.83	1.797

ตารางที่ 2 ทดลองหาความสัมพันธ์ต่างๆเมื่ออัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน

Downcomer ต่อพื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser A_d/A_r เท่ากับ 0.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$A_d / A_r = 0.3$	ΔH_{air} (cm)	ΔH_r (cm)	ΔH_d (cm)	$Q_w \times 10^{-4}$ (m ³ /s)	ε	$Q_a \times 10^{-3}$ (m ³ /s)	P_{input} (kW)
H_{r1} / H_d	0.5	21	20.9	4.4	0.1112	4.93	1.516
	0.55	21.1	21.5	4.42	0.1124	5.17	1.593
	0.6	21.3	22.2	4.44	0.1141	5.40	1.664
	0.65	21.5	23.1	4.09	0.1137	5.62	1.732
	0.7	21.5	23.8	3.38	0.1168	5.83	1.797
H_{r2} / H_d	0.5	14.4	14.5	3.45	0.0765	4.93	1.516
	0.55	14.9	14.8	3.5	0.0789	5.17	1.593
	0.6	15.4	15.1	3.52	0.0812	5.40	1.664
	0.65	16.3	16.4	3.26	0.0865	5.62	1.732
	0.7	17.1	17.8	2.98	0.0916	5.83	1.797
H_{r3} / H_d	0.5	7.8	8.4	3.96	0.0421	4.93	1.516
	0.55	7.8	8.9	3.74	0.0427	5.17	1.593
	0.6	8	9.3	3.52	0.0439	5.40	1.664
	0.65	8.7	9.4	3.43	0.047	5.62	1.732
	0.7	9	9.5	2.98	0.0484	5.83	1.797
H_{r4} / H_d	0.5	2.1	2.3	3.27	0.0114	4.93	1.516
	0.55	2.3	2.5	3.09	0.0124	5.17	1.593
	0.6	2.5	2.7	2.86	0.0135	5.40	1.664
	0.65	2.8	3	2.84	0.0151	5.62	1.732
	0.7	3.2	3.1	2.8	0.0168	5.83	1.797

ตารางที่ 3 ทดลองหาความสัมพันธ์ต่างๆเมื่ออัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของดาวน์
Downcomer ต่อพื้นที่หน้าตัดของดาวน์ Riser A_d / A_r เท่ากับ 0.3

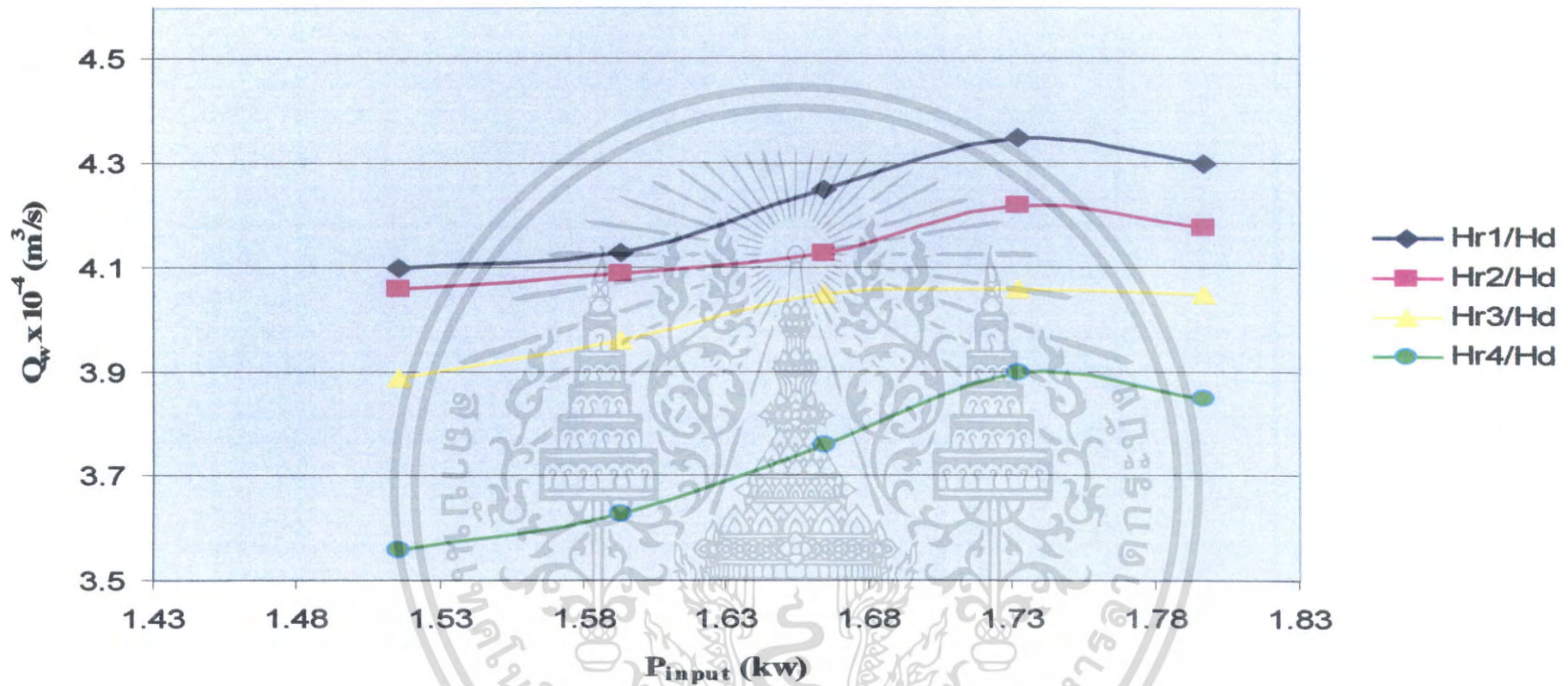
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ ΔH_{air}	คือ ผลต่างความสูงของระดับน้ำในมานอมิเตอร์ของท่ออากาศของมาตรวัดแบบ เวนจูรี
ΔH_r	คือ ผลต่างความสูงของระดับน้ำในมานอมิเตอร์ของท่อ Deep Shaft ทางด้าน Riser
ΔH_d	คือ ผลต่างความสูงของระดับน้ำในมานอมิเตอร์ของท่อ Deep Shaft ทางด้าน Downcomer
H_r / H_d	คือ อัตราส่วนความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Riser ต่อความลึกของ จุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Downcomer
P_{input}	คือ พลังงานที่ให้
Q_a	คือ อัตราการไหลของอากาศ
Q_w	คือ อัตราการไหลของน้ำ
ε	คือ ค่าเศษส่วนช่องว่าง

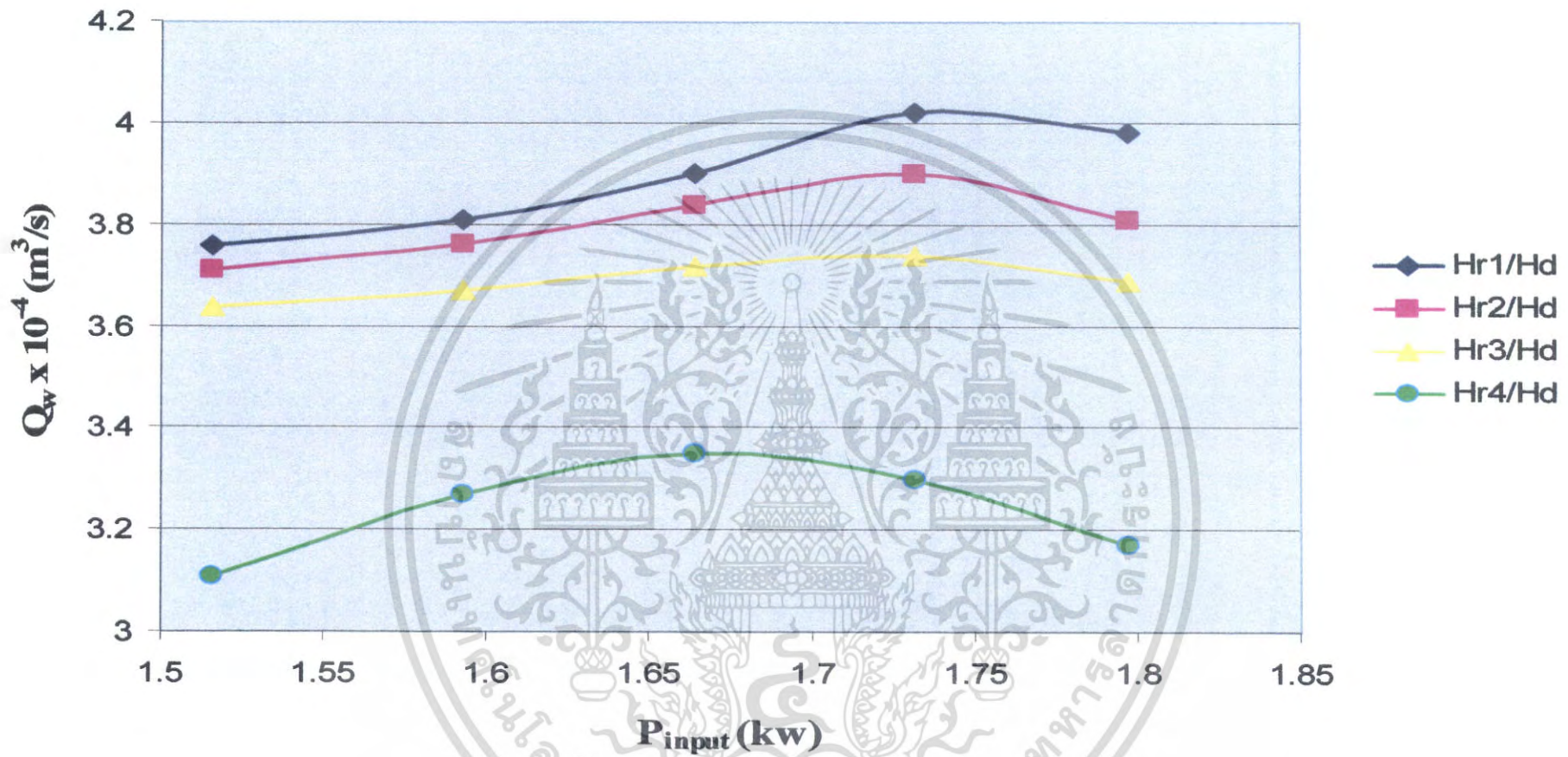


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

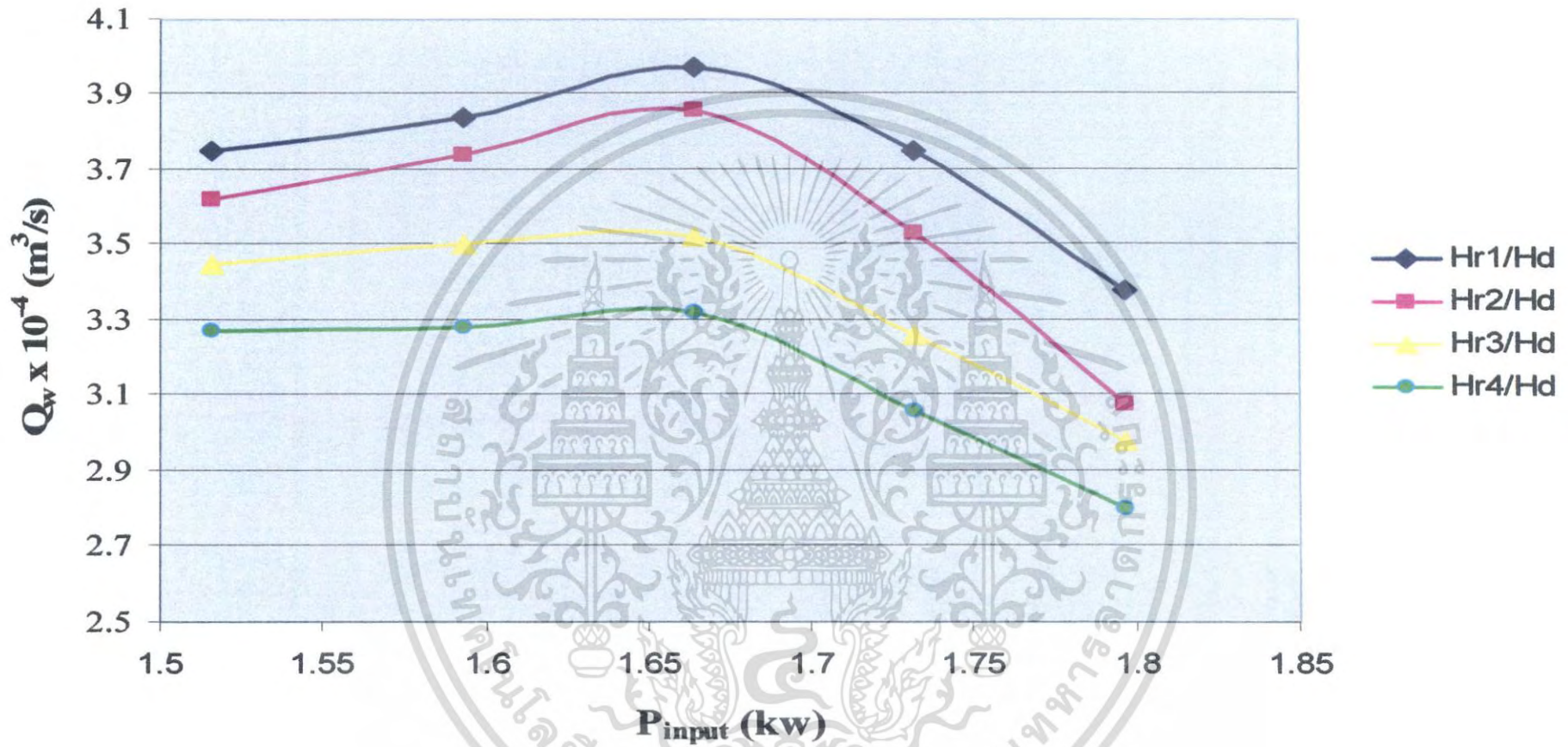
5.1 ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) กับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a)



กราฟที่ 5.1.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) กับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) หรือพลังงานที่ให้ (P_{input}) ที่อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อ พื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d/A_r) เท่ากับ 1



กราฟที่ 5.1.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) กับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) หรือพลังงานที่ให้ (P_{input}) ที่อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อ พื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d/A_r) เท่ากับ 0.4

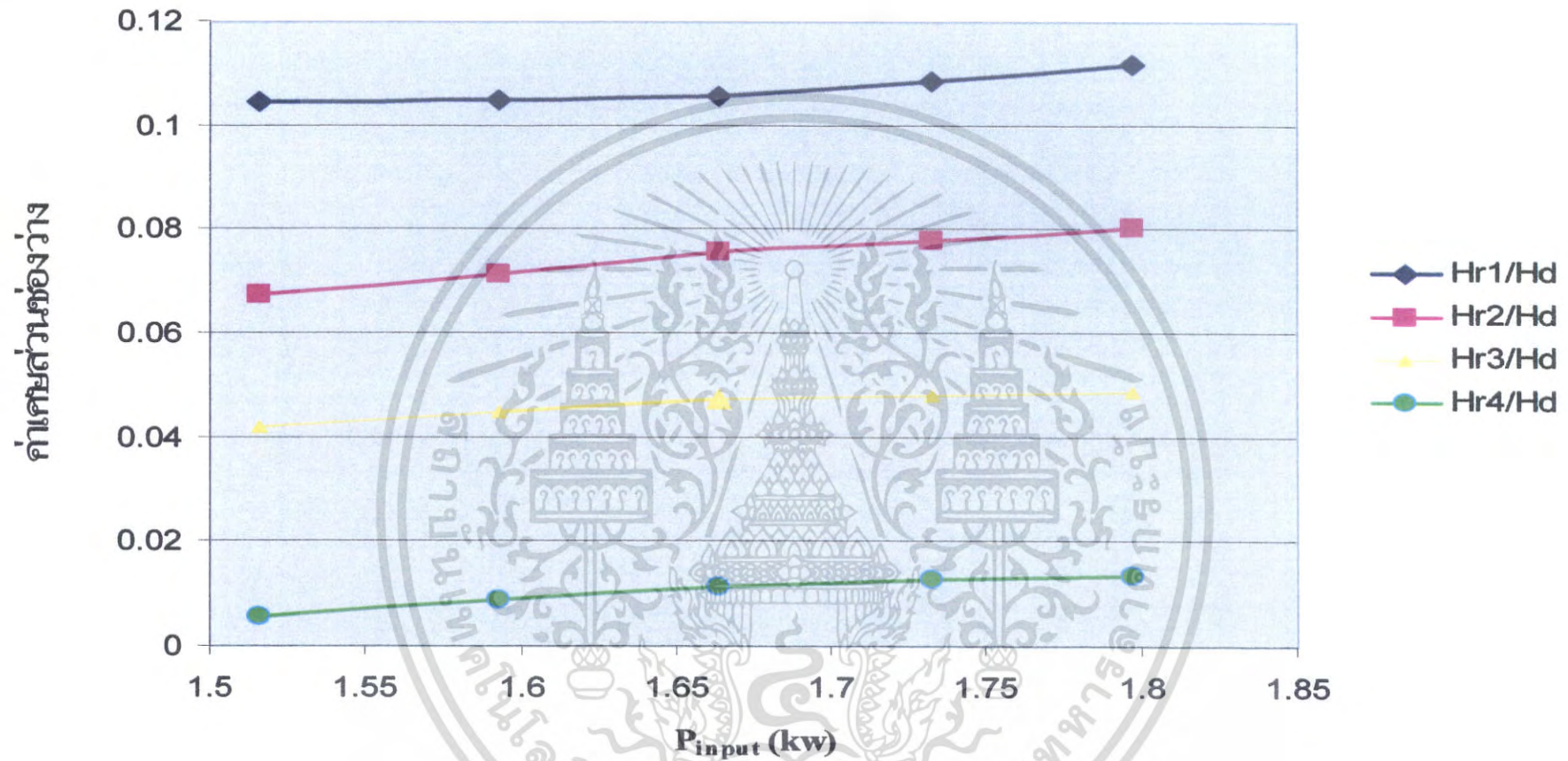


กราฟที่ 5.1.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) กับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) หรือพลังงานที่ให้ (P_{input}) ที่อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อ พื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d/A_r) เท่ากับ 0.3

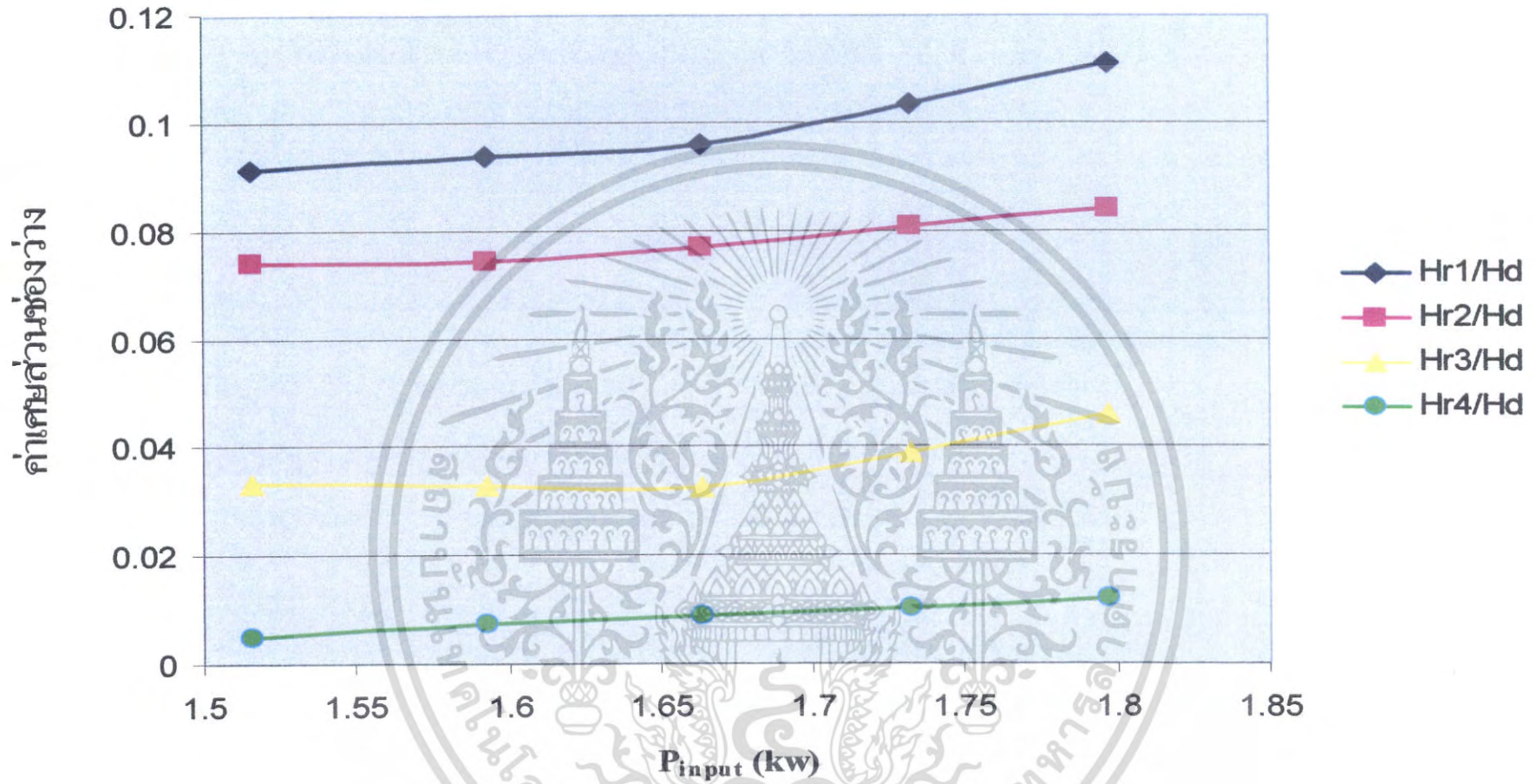
วิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) กับพลังงานที่ให้ (P_{input})

จากกราฟที่ 5.1.1 – 5.1.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) กับพลังงานที่ให้ (P_{input}) จากการทดลองพบว่าที่อัตราส่วนความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Riser คือ ความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Downcomer (H_r / H_d) ใดๆ เมื่อเพิ่มพลังงานที่ให้ (P_{input}) หรือเป็นการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) จะทำให้อัตราการไหลของน้ำ (Q_w) มากขึ้น เนื่องจากเมื่ออัตราการไหลของอากาศ (Q_a) เพิ่มขึ้นจะทำให้ ปริมาณอากาศในด้าน Riser มีมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นเฉลี่ยทางด้าน Riser ลดลง น้ำจากทางด้าน Downcomer จึงไหลเวียนมาแทนที่เนื่องจากความหนาแน่นที่แตกต่างกัน จากทฤษฎีกลศาสตร์ของไหลของไหลจะไหลจากที่ที่มีความหนาแน่นสูงไปที่ที่มีความหนาแน่นต่ำกว่า ดังนั้นยิ่งปริมาณอากาศมากขึ้นอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) ก็จะยิ่งมากขึ้น และจากกราฟยังจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Riser ยิ่งลึกมาก อัตราการไหลของน้ำ (Q_w) ก็จะมากตามไปด้วย เมื่อเปรียบเทียบที่อัตราการไหลของอากาศ (Q_a) หรือพลังงานที่ให้ (P_{input}) เท่ากัน แต่มีกราฟบางช่วงที่อัตราการไหลของน้ำ (Q_w) ลดลง ทั้งที่เพิ่มพลังงานที่ให้ (P_{input}) หรืออัตราการไหลของอากาศ (Q_a) เพิ่มขึ้นซึ่งจะเกิดในช่วงที่พลังงานที่ให้ (P_{input}) หรืออัตราการไหลของอากาศ (Q_a) มีค่าสูงมากๆ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก เมื่อเราเพิ่มพลังงานที่ให้ (P_{input}) ที่ค่าสูงๆจะมีปริมาณฟองอากาศอยู่ในน้ำมาก และเนื่องจากปริมาณฟองอากาศที่มากนี้แทนที่ฟองอากาศจะช่วยเพิ่มอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) กลับไปหน่วงหรือขัดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำ ซึ่งมักจะเกิดในช่วงที่พลังงานที่ให้ (P_{input}) หรืออัตราการไหลของอากาศ (Q_a) มากๆ

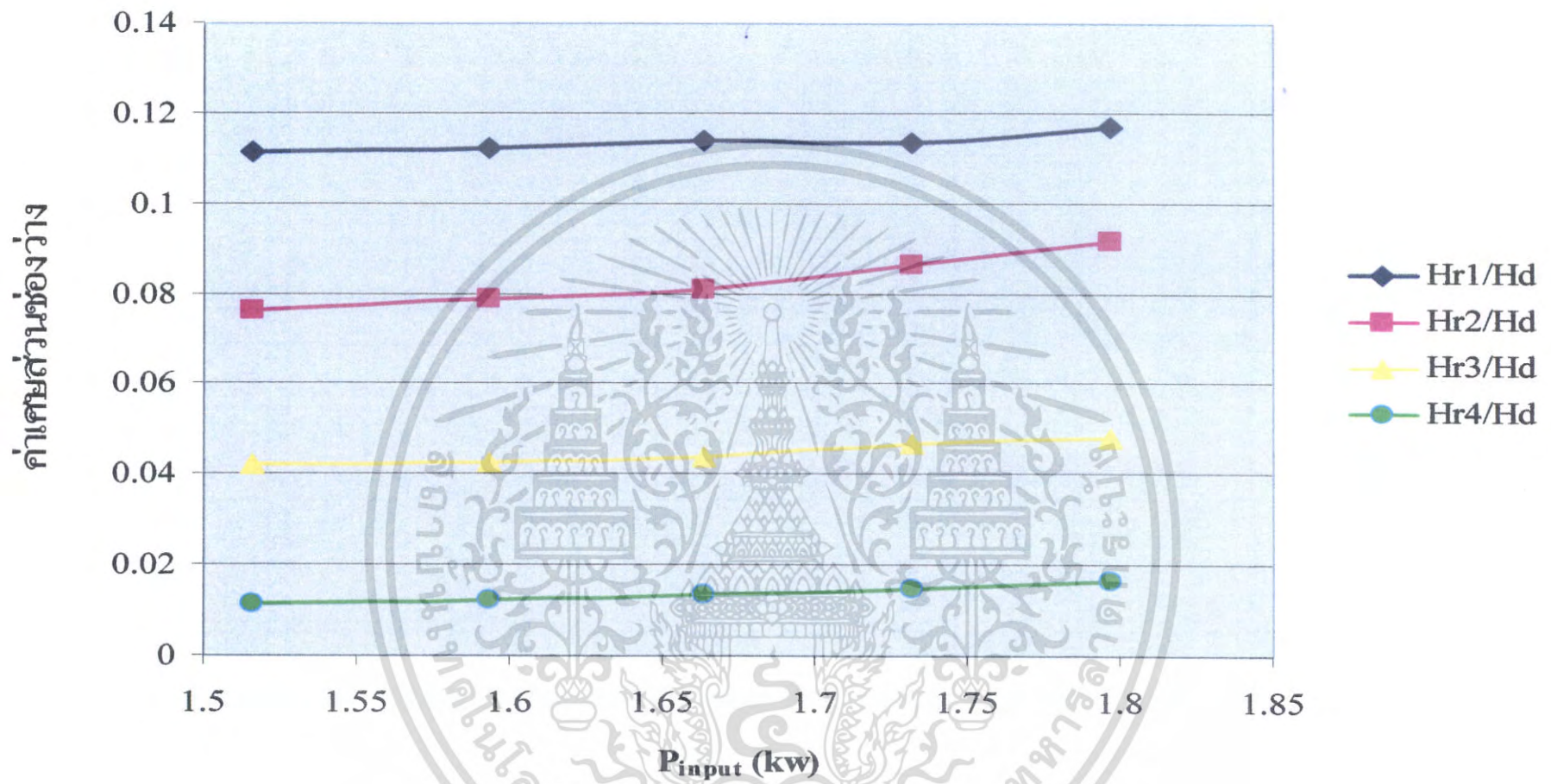
5.2 ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) กับค่าอัตราการไหลของอากาศ (Q_a)



กราฟที่ 5.2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) กับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) หรือพลังงานที่ให้ (P_{input}) ที่อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อ พื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d/A_r) เท่ากับ 1



กราฟที่ 5.2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) กับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) หรือพลังงานที่ให้ (P_{input}) ที่อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อ พื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d/A_r) เท่ากับ 0.4



กราฟที่ 5.2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) กับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) หรือพลังงานที่ให้ (P_{input}) ที่อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อ พื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d/A_r) เท่ากับ 0.3

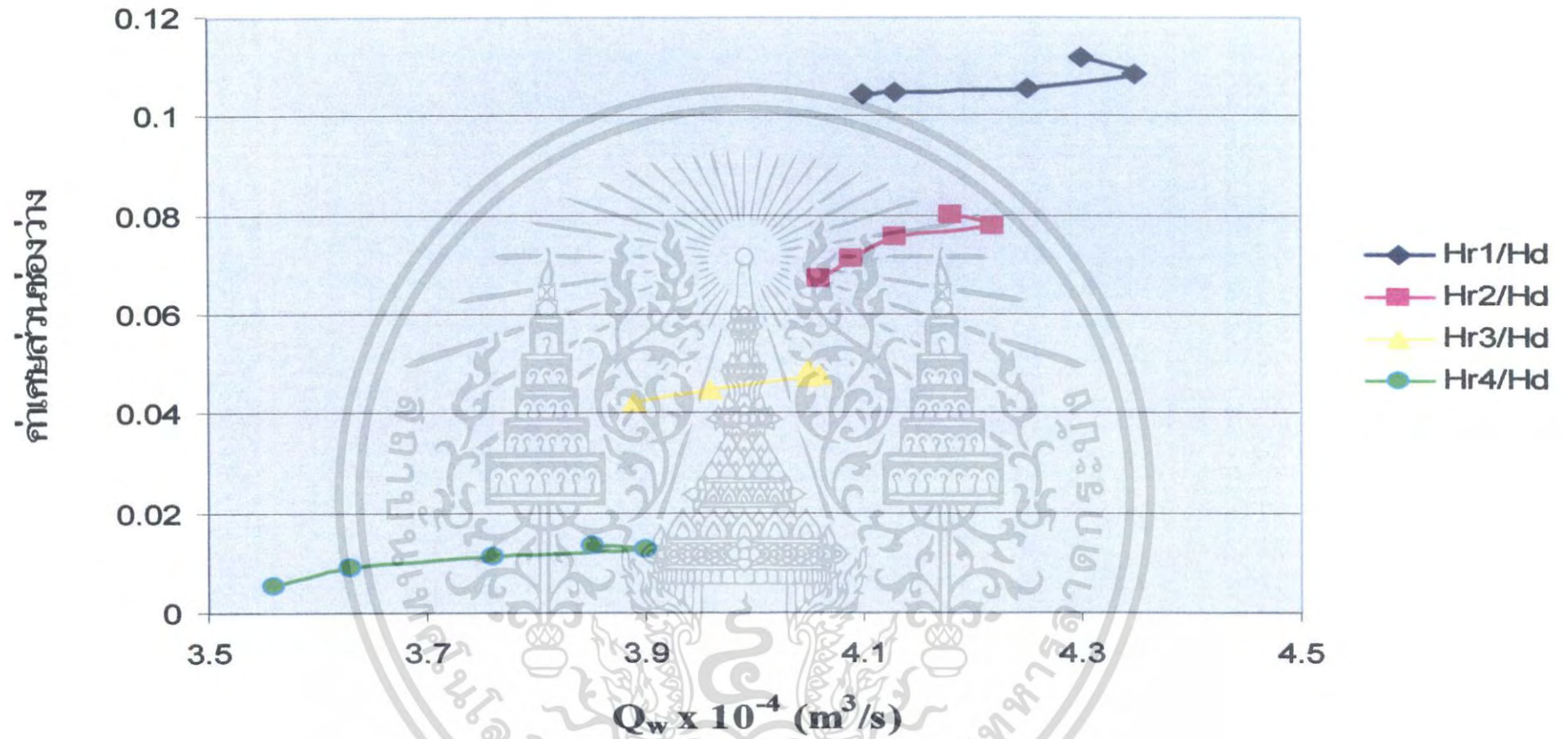
วิเคราะห์กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) กับค่าอัตราการไหลของอากาศ (Q_a)

จากกราฟที่ 5.2.1 – 5.2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) กับค่าอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) จากการทดลองพบว่าที่อัตราส่วนความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Riser ต่อความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Downcomer (H_r / H_d) ใดๆ เมื่อเพิ่มพลังงานที่ให้ (P_{input}) หรือเป็นการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) จะทำให้ค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) มาก

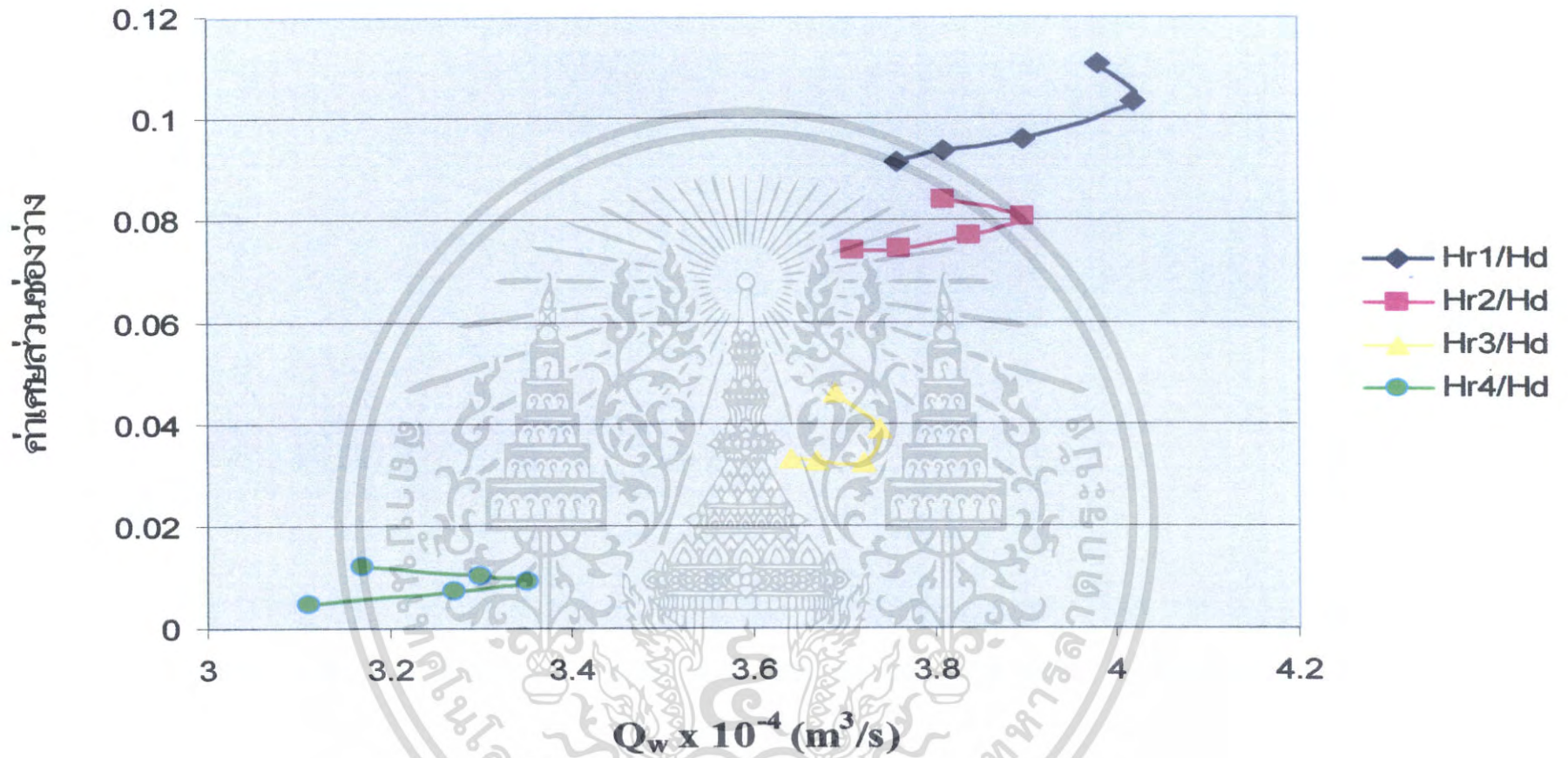
$$\text{ขึ้น จากค่าเศษส่วนช่องว่าง } \varepsilon = \frac{V_G}{V_G + V_L}$$

ดังนั้นเมื่อเราเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) ทำให้ค่าปริมาตรของอากาศ (V_G) มากขึ้น ขณะที่ปริมาตรของอากาศ (V_G) เพิ่มขึ้นก็จะไปแทนที่ปริมาตรน้ำ (V_L) ทำให้ปริมาตรของน้ำลดลง จากสมการข้างต้นทำให้ค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) มากขึ้น และจากกราฟยังจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Riser ยิ่งลึกมาก ค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) ก็จะยิ่งมากตามไปด้วย เมื่อเปรียบเทียบที่อัตราการไหลของอากาศ (Q_a) หรือพลังงานที่ให้ (P_{input}) เท่ากัน เนื่องจากถ้าจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Riser ยิ่งลึก จะทำให้ปริมาตรของอากาศ (V_G) ที่อยู่ในน้ำมีค่ามากเนื่องจากระยะจากผิวน้ำถึงจุดพ่นฟองอากาศมีค่ามากขึ้น ระยะเวลาที่ฟองอากาศลอยอยู่ในน้ำก็มีค่ามากขึ้น ปริมาตรของอากาศ (V_G) จึงมีค่ามากขึ้น

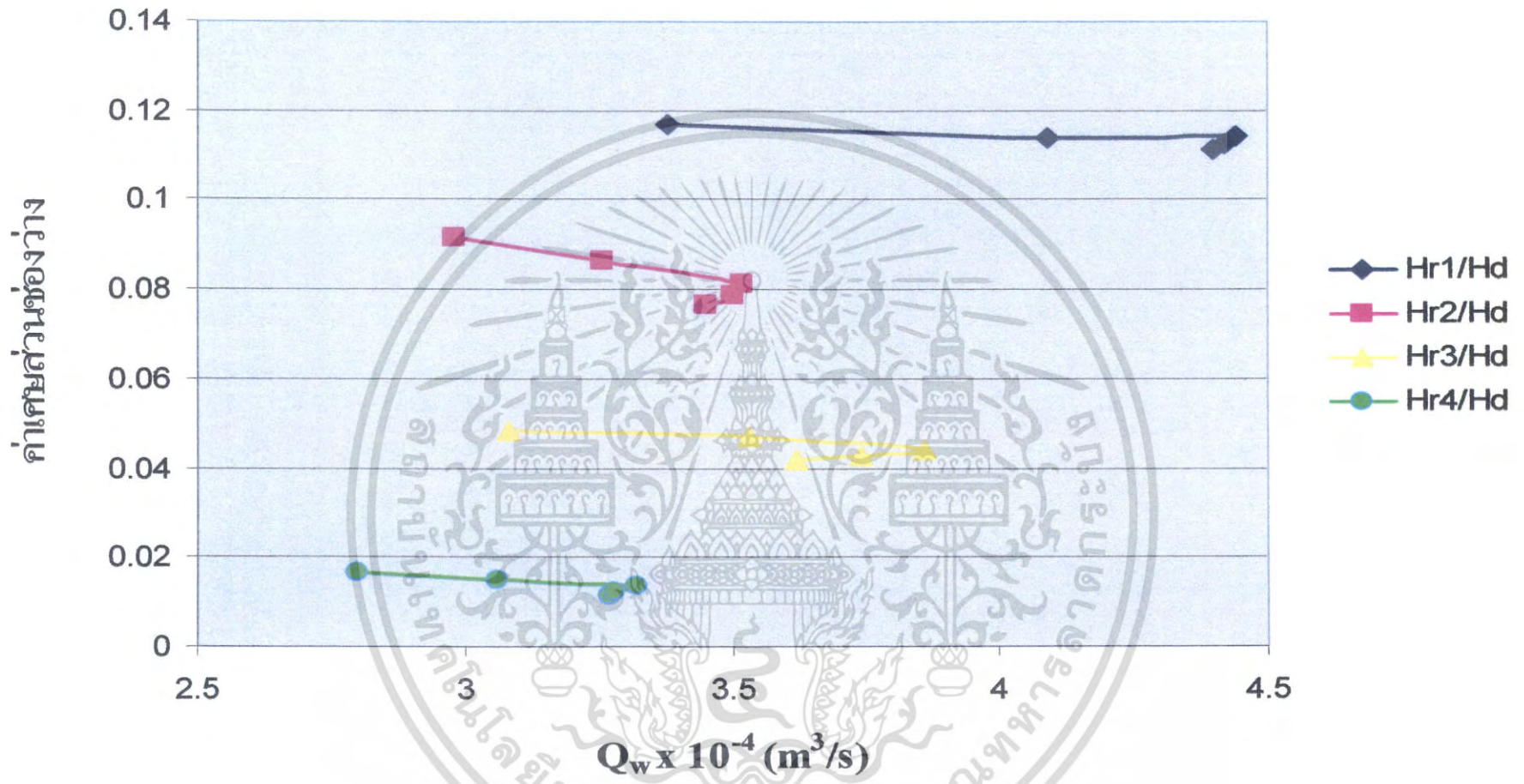
5.3 ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) กับอัตราการไหลของน้ำ (Q_w)



กราฟที่ 5.3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง กับอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) ที่อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อ พื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d/A_r) เท่ากับ 1



กราฟที่ 5.3.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง กับอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) ที่อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อ พื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d/A_r) เท่ากับ 0.4



กราฟที่ 5.3.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง กับอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) ที่อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อ พื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d/A_r) เท่ากับ 0.3

วิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) กับอัตราการไหลของน้ำ (Q_w)

จากกราฟที่ 5.3.1 – 5.3.3 จะพบว่าเมื่ออัตราการไหลของน้ำ (Q_w) เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากการเพิ่มพลังงานที่ให้ (P_{input}) หรือเป็นการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) จะทำให้ค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) มีค่ามากขึ้น

$$\text{จากค่าเศษส่วนช่องว่าง } \varepsilon = \frac{V_G}{V_G + V_L}$$

ดังนั้นเมื่อเราเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) ทำให้ค่าปริมาตรของอากาศ (V_G) เพิ่มขึ้น ขณะที่ปริมาตรของอากาศ (V_G) เพิ่มขึ้นก็จะไปแทนที่ปริมาตรน้ำ (V_L) ทำให้ปริมาตรของน้ำลดลง จากสมการข้างต้นทำให้ค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) มากขึ้น แต่มีกราฟบางช่วงที่ค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) มีค่ามากขึ้นทั้งที่อัตราการไหลของน้ำ (Q_w) มีค่าลดลง เนื่องจากว่าเมื่อเราเพิ่มพลังงานที่ให้ (P_{input}) ที่ค่าสูงๆจะมีปริมาณฟองอากาศอยู่ในน้ำมาก และเนื่องจากปริมาณฟองอากาศที่มากนี้แทนที่ฟองอากาศจะช่วยเพิ่มอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) กลับไปหนึ่งหรือซัดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำ ซึ่งมักจะเกิดในช่วงที่พลังงานที่ให้ (P_{input}) หรืออัตราการไหลของอากาศ (Q_a) มากๆ จึงทำให้อัตราการไหลของน้ำ (Q_w) มีค่าลดลง แต่การที่เราเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) มากๆ ทำให้ค่าปริมาตรของอากาศ (V_G) เพิ่มขึ้น ขณะที่ปริมาตรของอากาศ (V_G) เพิ่มขึ้นก็จะไปแทนที่ปริมาตรน้ำ (V_L) ทำให้ปริมาตรของน้ำลดลง จากสมการข้างต้นทำให้ค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) มากขึ้น

สรุปผลการทดลอง

จากข้อความข้างต้นระบบบำบัดน้ำเสียแบบเดิมฟองอากาศในแนวตั้งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพในการให้ออกซิเจนแก่น้ำทำให้ปริมาณการให้อากาศลดลง จากประโยชน์ที่กล่าวมาแล้วนั้นองค์ประกอบต่าง ๆ ทางด้านไฮดรอดนามิกที่มีผลต่อเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเดิมฟองอากาศในแนวตั้งคือ

1. ค่าความลึกของจุดฟ้นฟองอากาศทางด้าน Riser จากการทดลองพบว่ายิ่งจุดฟ้นฟองอากาศทางด้าน Riser ยิ่งลึกมาก อากาศทางด้านด้าน Downcomer จะสามารถไหลวนได้ดี เพราะฉะนั้นสำหรับการทดลองนี้จึงสรุปว่าที่ระยะของจุดฟ้นฟองอากาศทางด้าน Riser ที่ระดับ H_{R1} เหมาะสมที่สุด เพราะฉะนั้นเวลาที่เรากำลังการสร้างเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเดิมฟองอากาศในแนวตั้งแบบ Split-cylinder internal-loop จึงควรติดตั้งระยะของจุดฟ้นฟองอากาศทางด้าน Riser ให้ลึกที่สุดเท่าที่จะทำได้

2. ค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) ซึ่งจากการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) กับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) และการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) กับอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) นั้นค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) จะมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของอากาศ (Q_a) เพิ่มขึ้น และสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำ (Q_w) เพิ่มขึ้นเช่นกัน เนื่องเมื่ออัตราการไหลของอากาศ (Q_a) เพิ่มขึ้นอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) ก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน

เมื่อเปรียบเทียบค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) ที่อัตราส่วนความลึกของจุดฟ้นฟองอากาศทางด้าน Riser ต่อความลึกของจุดฟ้นฟองอากาศทางด้าน Downcomer (H_r / H_d) ใดๆ พบว่ายิ่งระยะจุดฟ้นฟองอากาศยิ่งสูงค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) จะสูงขึ้นตามไปด้วย เมื่อเปรียบเทียบที่อัตราการไหลของอากาศ (Q_a) หรือพลังงานที่ให้ (P_{input}) เท่ากัน เนื่องจากถ้าจุดฟ้นฟองอากาศทางด้าน Riser ยิ่งลึกจะทำให้ปริมาตรของอากาศ (V_G) ที่อยู่ในน้ำมีค่ามากเนื่องจากระยะจากผิวน้ำถึงจุดฟ้นฟองอากาศมีค่ามากขึ้น ระยะเวลาที่ฟองอากาศลอยอยู่ในน้ำก็มีค่ามากขึ้น ปริมาตรของอากาศ (V_G) จึงมีค่ามากขึ้น

3. อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อพื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d / A_r) จากการทดลองพบว่ายิ่งอัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อพื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d / A_r) ยิ่งมีค่าน้อย จะทำให้อากาศทางด้าน Downcomer สามารถไหลวนได้ดีเพราะฉะนั้นจากการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่า ค่าอัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของ

ด้าน Downcomer ต่อพื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d / A_r) เท่ากับ 0.3 สามารถทำให้อากาศทางด้าน Downcomer สามารถไหลวนได้ดีที่สุดสำหรับการทดลองนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. Christopher Forster. Wastewater Treatment and Technology. Thomas Telford, 2003. p. 122-125.
2. Weiland, P. and Onken, U. Difference in the Behaviour of Bubble Columns and Air Lift Loop Reactors. Ger. Chem. Eng. Vol 4, 1981.
3. Chisti, M.Y., Airlift Bioreactor. Elsevier Applied Science Publishers LTD, 1989.
4. Monton Jaikuson. A Study of an Oxygen Transport in Deep Shaft Reactor. Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, 2003.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การศึกษาองค์ประกอบทางด้านไฮโดรไดนามิก ของเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง¹

ณัฐ มนสิการ², ชรวรวิทย์ วิถี², อารักษ์ ยงชยุต³, มณฑล ใจกุลศล³

บทคัดย่อ

เครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง เหมาะกับบริเวณที่มีที่ดินราคาแพงหรือบริเวณที่มีพื้นที่จำกัด เพราะเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้งใช้พื้นที่น้อยโครงการนี้มีเป้าหมายในการศึกษาองค์ประกอบต่าง ๆ ทางด้านไฮโดรไดนามิกที่มีผลต่อเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง ได้แก่ อัตราส่วนระยะฟองอากาศทางด้าน Riser ต่อระยะฟองอากาศทางด้าน Downcomer (H_r/H_d), อัตราการไหลของอากาศ (Q_a), อัตราการไหลของน้ำ (Q_w), ค่าเศษส่วนของช่องว่าง (ϵ) และอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดทางด้าน Downcomer ต่อพื้นที่หน้าตัดทางด้าน Riser (A_d/A_r) โดยทำการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบต่างๆเพื่อหาความสัมพันธ์แล้วนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อใช้เป็นแนวโน้มนำในการสร้างเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง

Abstract

Deep Shaft Waste Water Treatment can set in small area. Then we can construct this system for limit or expensive area. This research describes the study of the Hydrodynamic components the influence to Deep Shaft Waste Water Treatment. Such as the ratio of Riser's high of bubbles blow point and Downcomer's high of bubbles blow point (H_r/H_d), air flow rate (Q_a), water flow rate (Q_w), void fraction (ϵ), the ratio of Downcomer's area and Riser's area (A_d/A_r). Experiment by changed Hydrodynamic components to find relation and analyze the results for guide line to construct Deep Shaft Waste Water Treatment. © 2007 Department of Mechanical Engineering, KMUTL. All rights reserved

Keywords: Deep Shaft Waste Water Treatment; The Hydrodynamic Components

1. บทนำ

เนื่องจากในบางประเทศหรือในบางพื้นที่ที่มีความจำเป็นต้องใช้เครื่องบำบัดน้ำเสียแต่มีบริเวณจำกัดหรือพื้นที่มีราคาแพง เครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง ซึ่งในที่นี้จะใช้คำว่าเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบ Deep Shaft แทน จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสม ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อลึกลงผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.4-3.4 เมตร เครื่องบำบัดน้ำเสียแบบ Deep Shaft จะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ Riser หรือ Upflow Section และ Downcomer หรือ Downflow Section ทำการหมุนวนด้วย air-lift จึงทำให้เกิดการหมุนวนของน้ำเสียเนื่องจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหลด้าน Riser และ Downcomer และเมื่อฟองอากาศจะทำให้อากาศมีเวลาแลกเปลี่ยนออกซิเจนกับน้ำเสียตลอดช่วงความยาวของท่อ

¹ ชื่ออังกฤษ "The Hydrodynamic components the influence to Deep Shaft Waste Water Treatment"

² นักศึกษาคณะวิศวกรรมเครื่องกล สจล. ห้อง 4G รหัส 47010215, 47010327 และ 47010986 ตามลำดับ

³ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สจล., โทร. 0 2326 4197, อีเมล kjmonon@kmitl.ac.th ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

A_b	พื้นที่หน้าตัดของตัวพ่นอากาศ	T	อุณหภูมิ
A_d	ภาคตัดขวางสมำเสมอทางด้าน Downcomer	t	เวลา
A_F	พื้นที่ว่างสำหรับการไหลของของเหลวผ่านตัวพ่นอากาศ	U_L	Superficial Velocity ของของเหลว
A_r	ภาคตัดขวางสมำเสมอทางด้าน Riser	U_{Ld}	Superficial Velocity ของของเหลวทางด้าน Downcomer
d	เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ	U_{Lr}	Superficial Velocity ของของเหลวทางด้าน Riser
E_i	กำลังงานที่ใส่	V_G	ปริมาตรของก๊าซ
h_L	ความลึกของของเหลว	V_L	ปริมาตรของของเหลว
Δh	ช่วงความลึกของของเหลว	V_{Ld}	ความเร็วของของเหลวจริงทางด้าน Downcomer
H_d	ค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Downcomer	V_{Lr}	ความเร็วของของเหลวจริงทางด้าน Riser
H_r	ค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Riser	ϵ	เศษส่วนช่องว่างทั้งหมด
P_{atm}	ความดันบรรยากาศ	ϵ_d	เศษส่วนช่องว่างด้าน Downcomer
Q_o	อัตราการไหลของอากาศ	ϵ_r	เศษส่วนช่องว่างด้าน Riser
Q_{ma}	อัตราการไหลของมวลอากาศ	ρ_G	ความหนาแน่นของก๊าซ
Q_w	อัตราการไหลของน้ำ	ρ_L	ความหนาแน่นของของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

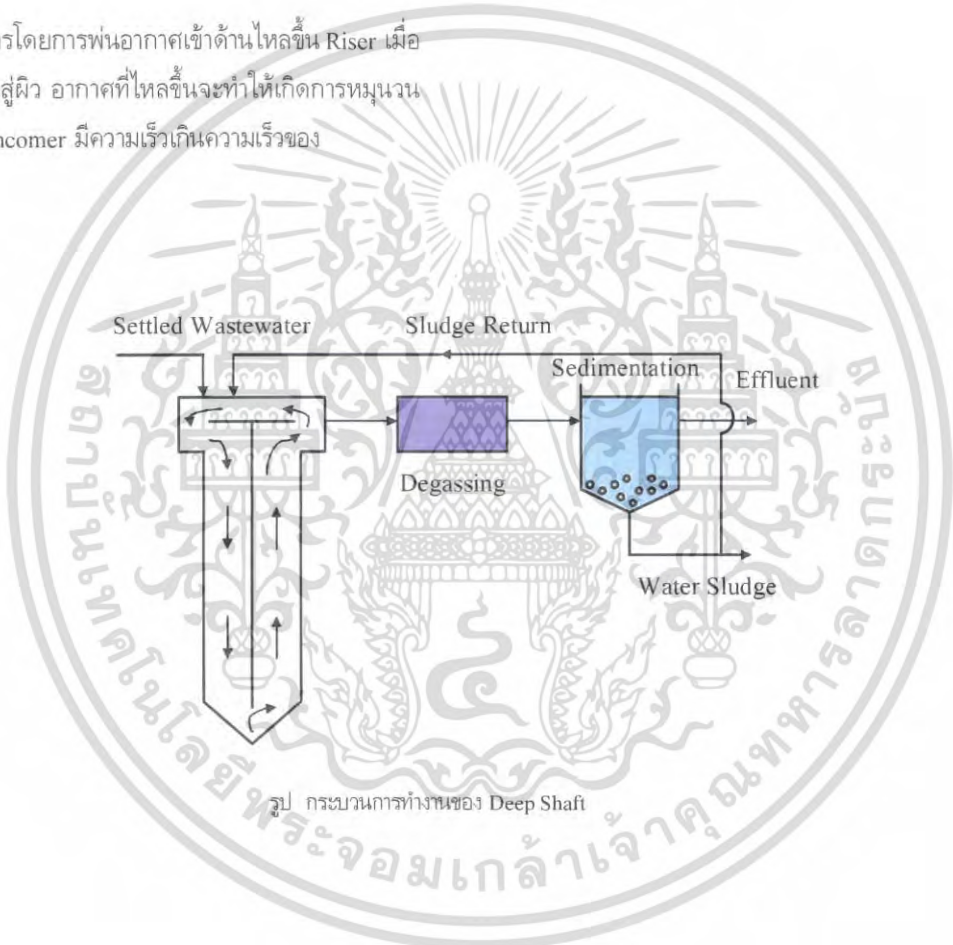
2. Deep Shaft Process

Deep Shaft เป็นอีกรูปแบบหนึ่งของการบำบัดน้ำเสียในกลุ่ม Activated Sludge ประกอบด้วย Shaft ที่มีความลึกประมาณ 30-150 เมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.4-3.4 เมตร Shaft แบ่งเป็น ด้านไหลขึ้น (Riser) และด้านไหลลง (Downcomer) และทำการหมุนวนด้วย air-lift จะมีถังปล่อยแก๊สอยู่ด้านล่างตัว Shaft ตะกอนของเสียจะแยกออกจากน้ำโดยตะกอนจะไปอยู่รวมกันที่ถังเก็บตะกอนเหมือน การบำบัดน้ำเสียแบบ Activated Sludge ทั่วไป และตะกอนบางส่วน จะถูกนำกลับมาใช้เพราะต้องการแบคทีเรียมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่ เหลือ

เริ่มต้นกระบวนการโดยการพ่นอากาศเข้าด้านไหลขึ้น Riser เมื่อ พองอากาศเคลื่อนที่ขึ้นสู่ผิว อากาศที่ไหลขึ้นจะทำให้เกิดการหมุนวน เมื่อความเร็วด้าน Downcomer มีความเร็วเกินความเร็วของ

พองอากาศ(ทางทฤษฎีประมาณ 300 มิลลิเมตรต่อวินาที)กระบวนการ ด้าน Downcomer จึงจะใช้ได้และเริ่มพ่นอากาศด้าน Downcomer และสามารถปิดหรือเปิด จุดพ่นอากาศเริ่มต้นหรือจุดพ่นอากาศด้าน Riser เพื่อให้อัตราการไหลคงที่ได้

การเคลื่อนที่ของของเหลว, อากาศ และตำแหน่งที่พ่นอากาศเป็น ตัวทำให้เกิดความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างช่องทางการไหล และเกิดความแตกต่างของรูปแบบการไหล, การไหลแบบ turbulent (Reynolds Number มากกว่า 100,000)เป็นผลดีต่อการ mixing ของ แก๊ส[1]



รูป กระบวนการทำงานของ Deep Shaft

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 ทฤษฎีทางด้านไฮโดรไดนามิคของก๊าซกับของเหลว

พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับค่าไฮโดรไดนามิคในเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบ Deep Shaft มีหลายตัวเช่น เศษส่วนช่องว่างทั้งหมด (ϵ) ความลึกของของเหลว (h_L) และการหมุนเวียนของของเหลวโดยเศษส่วนช่องว่างทั้งหมดก็คืออัตราส่วนของปริมาตรก๊าซต่อปริมาตรทั้งหมดและแทนด้วยสมการ

$$\epsilon = \frac{V_G}{V_G + V_L} \quad (1)$$

สำหรับเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบ Deep Shaft เศษส่วนช่องว่างมี 2 ด้านก็คือ เศษส่วนช่องว่างด้าน Riser (ϵ_r) และเศษส่วนช่องว่างด้าน Downcomer (ϵ_d) โดยเศษส่วนช่องว่างทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับ เศษส่วนช่องว่างด้าน Riser และด้าน Downcomer ดังสมการ

$$\epsilon = \frac{A_r \epsilon_r + A_d \epsilon_d}{A_r + A_d} \quad (2)$$

นอกจากนั้น ความลึกของของเหลวในเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบ Deep Shaft ยังเป็นตัวแปรสำคัญอีกตัวหนึ่งที่มีผลต่อเศษส่วนช่องว่างและมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\frac{\epsilon(h_L)}{\epsilon(h_L=0)} = \frac{P_{atm}}{P_{atm} + \rho_L g h_L} \quad (3)$$

ค่าเศษส่วนช่องว่างระหว่างจุด 2 จุดของท่อมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\epsilon = \frac{\rho_L \left(\frac{dh}{dz} \right)}{\rho_L - \rho_G} \quad (4)$$

สุดท้ายการหมุนเวียนของของเหลวในช่องทางด้าน Riser และด้าน Downcomer ในเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบ Deep Shaft ความเร็วของของเหลวทั้งสองด้านมีความสัมพันธ์เป็น

$$U_{Lr} A_r = U_{Ld} A_d \quad (5)$$

ในสภาวะจริงการไหลของของเหลวทั้งสองด้านนั้นมีส่วนเกิดฟองอากาศภายในท่อด้วยดังนั้น จึงใช้ความเร็วของของเหลวจริง (True Linear Liquid Velocity) แทน

$$V_{Lr} = \frac{U_{Lr}}{(1 - \epsilon_r)} \quad \text{สำหรับทางด้าน Riser} \quad (6)$$

และ $V_{Ld} = \frac{U_{Ld}}{(1 - \epsilon_d)} \quad \text{สำหรับทางด้าน Downcomer} \quad (7)$

ของเหลวภายในเครื่องบำบัดน้ำเสียสามารถไหลวนตามท่อด้าน Riser และ Downcomer ได้ก็เนื่องมาจากกำลังงานที่ได้จากการขยายตัวของก๊าซ (เมื่อสมมติให้อุณหภูมิของของเหลวคงที่) และกำลังงานจากพลังงานจลน์ที่ตัวพ่นอากาศ โดยปกติพลังงานจลน์ที่ตัวพ่นอากาศมีค่าไม่เกิน 5% ของกำลังงานที่ใส่ทั้งหมด [2]

$$\text{กำลังงานที่ใส่} = E_i = Q_{mo} RT \ln \left(1 + \frac{\rho_L g h_L}{P_{atm}} \right) \quad (8)$$

4. ขั้นตอนและวิธีดำเนินการทดลอง

4.1 ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) กับ อัตราการไหลของอากาศ (Q_a)

4.1.1 ตรวจสอบอุปกรณ์ทุกชิ้นให้อยู่ในสภาพพร้อมสำหรับการทดลอง

- ก. สวิตช์ของเครื่องอัดอากาศและวาล์วน้ำยังปิดอยู่
- ข. วาล์วปรับอัตราการไหลของอากาศและของน้ำยังปิดอยู่
- ค. ตรวจสอบระดับของของเหลวในเครื่อง Deep Shaft ให้ได้ตาม ระดับที่กำหนด

ง. ตรวจสอบระดับของของเหลวในถังพักให้ได้ระดับตามที่กำหนด เมื่ออุปกรณ์ทุกชิ้นพร้อมแล้ว ให้เริ่มทำการทดลองดังนี้

4.1.2 ในครั้งแรกกำหนดให้อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อพื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d/A_r) เท่ากับ 1

4.1.3 จัดอัตราส่วนค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Riser ต่อค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Downcomer (H_r/H_d) ให้อยู่ในระบะที่ที่กำหนด

4.1.4 เปิดสวิตช์ของเครื่องบีบอากาศให้ทำงาน แล้วรอจนกระทั่งอัดอากาศเต็มที่

4.1.5 ปรับวาล์วอัตราการไหลของอากาศให้อัตราการไหลตามกำหนด

4.1.6 เปิดวาล์วน้ำ เพื่อรักษ้อัตราการไหลของน้ำที่เข้าและออกจากเครื่อง Deep Shaft ให้มีค่าเท่ากัน

4.1.7 เมื่อระบบเข้าสู่สมดุล ทำการบันทึก อัตราการไหลของน้ำ (Q_w) กับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) และอัตราส่วนค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Riser ต่อค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Downcomer (H_r/H_d) พร้อมทั้งปล่อยอากาศที่อัตราการไหลด้าน Downcomer เท่ากับ 5.33×10^{-5} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เพื่อดูลักษณะการไหลวนของอากาศด้าน Downcomer

4.1.8 ในการทดลองนี้กำหนดให้อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อพื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d/A_r) เท่ากับ 1 แล้วทำการเปลี่ยนอัตราส่วนค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Riser ต่อค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Downcomer (H_r/H_d) และอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) ไปเรื่อยๆ ตามที่กำหนด

4.1.9 ทำการทดลองซ้ำจากข้อ 4.1.1-4.1.8 โดยเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อพื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d/A_r) ให้อยู่ในอัตราส่วน 0.4, 0.3 ตามลำดับ

4.1.10 ทำการทดลองจนครบตามที่กำหนด แล้วปิดสวิตช์และวาล์วต่างๆให้เรียบร้อย

4.1.11 นำค่าที่ได้จากการทดลอง มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) กับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a)

4.2 ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) กับ อัตราการไหลของอากาศ (Q_a)

4.2.1 ตรวจสอบอุปกรณ์ให้พร้อมสำหรับการทดลองตาม ข้อ 4.1.1 แล้วเริ่มทำการทดลอง

4.2.2 ในครั้งแรกกำหนดให้อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อพื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d/A_r) เท่ากับ 1

4.2.3 จัดอัตราส่วนค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Riser ต่อค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Downcomer (H_r/H_d) ให้อยู่ในระบะที่ที่กำหนด

4.2.4 เปิดสวิตช์ของเครื่องบีบอากาศให้ทำงาน แล้วรอจนกระทั่งอัดอากาศเต็มที่

4.2.5 ปรับวาล์วปรับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) ให้ได้ตามกำหนด

4.2.6 เปิดวาล์วน้ำ เพื่อรักษ้อัตราการไหลของน้ำที่เข้าและออกจากเครื่อง Deep Shaft ให้มีค่าเท่ากัน

4.2.7 เมื่อระบบเข้าสู่สมดุล ทำการบันทึกค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) กับ อัตราการไหลของอากาศ (Q_a) และอัตราส่วนค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Riser ต่อค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Downcomer (H_r/H_d)

4.2.8 ทำการเปลี่ยนอัตราส่วนค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Riser ต่อค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Downcomer (H_r/H_d) และอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) ไปเรื่อยๆ ตามที่กำหนด

4.2.9 ทำการทดลองซ้ำจากข้อ 4.2.1-4.2.6 โดยเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อพื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d/A_r) ให้อยู่ในอัตราส่วน 0.4, 0.3 ตามลำดับ

4.2.10 ทำการทดลองจนครบตามที่กำหนด แล้วปิดสวิตช์และวาล์วต่างๆให้เรียบร้อย

4.2.11 นำค่าที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) กับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a)

4.3 ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) กับ อัตราการไหลของน้ำ (Q_w)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 ตรวจสอบอุปกรณ์ให้พร้อมสำหรับการทดลองตาม ข้อ

4.1.1 แล้วเริ่มทำการทดลอง

4.3.2 ในครั้งแรกกำหนดให้อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อพื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d/A_r) เท่ากับ 1

4.3.3 จัดอัตราส่วนค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Riser ต่อค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Downcomer (H_r/H_d) ให้อยู่ในระบะที่ที่กำหนด

4.3.4 เปิดสวิทช์ของเครื่องปั๊มอากาศให้ทำงาน แล้วรอจนกระทั่งอัดอากาศเต็มที

4.3.5 ปรับวาล์วอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) ให้ได้ตามที่กำหนด

4.3.6 เมื่อระบบเข้าสู่สมดุล ทำการบันทึกค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ), อัตราการไหลของน้ำ (Q_w) และอัตราส่วนค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Riser ต่อค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Downcomer (H_r/H_d)

4.3.7 คำนวณค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) แล้วบันทึกไว้

4.3.8 ทำการเปลี่ยนอัตราส่วนค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Riser ต่อค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Downcomer (H_r/H_d) และอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) ไปเรื่อยๆ ตามที่กำหนด

4.3.9 ทำการทดลองซ้ำจากข้อ 4.3.1-4.3.8 โดยเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อพื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d/A_r) ให้อยู่ในอัตราส่วน 0.4, 0.3 ตามลำดับ

4.3.10 ทำการทดลองจนครบตามที่กำหนด แล้วปิดสวิทช์และวาล์วต่างๆให้เรียบร้อย

4.3.11 นำค่าที่ได้จากการทดลอง มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) กับอัตราการไหลของน้ำ (Q_w)

5. ผลที่คาดว่าจะได้รับ

5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) กับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a)

จากการที่เราปล่อยฟองอากาศเข้าสู่ระบบทำให้เกิดการหมุนวนของน้ำ เนื่องจากเมื่ออัตราการไหลของอากาศ (Q_a) เพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณอากาศในด้าน Riser มีมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นเฉลี่ยทางด้าน Riser ลดลง น้ำจากทางด้าน Downcomer จึงไหลเวียนมาแทนที่เนื่องจากความหนาแน่นที่แตกต่างกัน จากทฤษฎีกลศาสตร์ของไหล ของไหลจะไหลจากที่ที่มีความหนาแน่นสูงไปที่ที่มีความหนาแน่นต่ำ

กว่าซึ่งเราจะได้อัตราการไหลของน้ำ (Q_w) ค่าหนึ่งเมื่อกำหนดให้อัตราการไหลของอากาศ (Q_a) คงที่ที่ค่าหนึ่ง และอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) น่าจะสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของอากาศ (Q_a) มีค่ามากขึ้น และจาก $Q = VA$ ถ้าเราเปลี่ยนค่าอัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อพื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d/A_r) เมื่อพื้นที่หน้าตัดในการไหลเปลี่ยนไปจะทำให้ความเร็วของน้ำเปลี่ยนไปด้วย และการที่เราเปลี่ยน อัตราส่วนค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Riser ต่อค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Downcomer (H_r/H_d) ในอัตราส่วนที่ H_r มากขึ้น จะทำให้ความเร็วของน้ำสูงขึ้นเนื่องจากอากาศมีเวลาในการพ่นน้ำไหลขึ้นนานกว่าเดิม และมีการขยายตัวที่มากขึ้นเนื่องจาก H_r มากขึ้นทำให้อากาศที่ออกมามีขนาดเล็กเนื่องจากความดันที่สูงขึ้น

5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) กับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a)

จากความสัมพันธ์ $\epsilon = \frac{V_G}{V_G + V_L}$ เมื่อเราเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) ทำให้ค่าปริมาตรของอากาศ (V_G) มากขึ้น ขณะที่ปริมาตรของอากาศ (V_G) เพิ่มขึ้นก็จะไปแทนที่ปริมาตรน้ำ (V_L) ทำให้ปริมาตรของน้ำลดลง จากสมการข้างต้นทำให้ค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) มากขึ้น เพราะฉะนั้นถ้าเราเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) ค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) น่าจะเพิ่มขึ้น

5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) กับอัตราการไหลของน้ำ (Q_w)

เนื่องจากเมื่ออัตราการไหลของอากาศ (Q_a) เพิ่มขึ้นจะทำให้ ปริมาณอากาศในด้าน Riser มีมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นเฉลี่ยทางด้าน Riser ลดลง น้ำจากทางด้าน Downcomer จึงไหลเวียนมาแทนที่เนื่องจากความหนาแน่นที่แตกต่างกัน จากทฤษฎีกลศาสตร์ของไหล ของไหลจะไหลจากที่ที่มีความหนาแน่นสูงไปที่ที่มีความหนาแน่นต่ำกว่า เพราะฉะนั้นอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) น่าจะสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของอากาศ (Q_a) มีค่ามากขึ้น และจากความสัมพันธ์ $\epsilon = \frac{V_G}{V_G + V_L}$

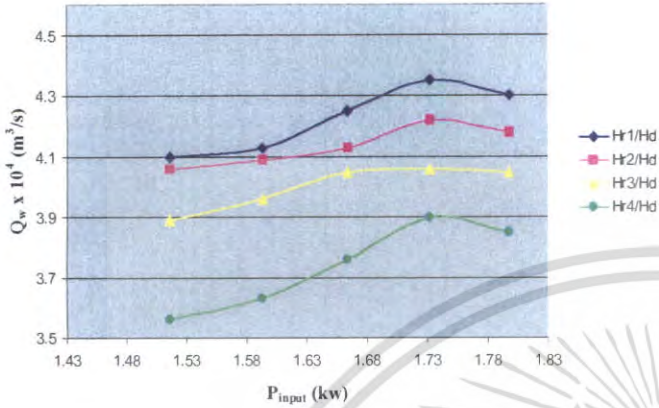
เมื่ออัตราการไหลของอากาศ (Q_a) เพิ่มขึ้นค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) น่าจะเพิ่มขึ้นด้วย เพราะฉะนั้นค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) น่าจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำ (Q_w) สูงขึ้น

5.4 สามารถออกแบบเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้งจากความสัมพันธ์ของตัวแปรข้างต้นได้

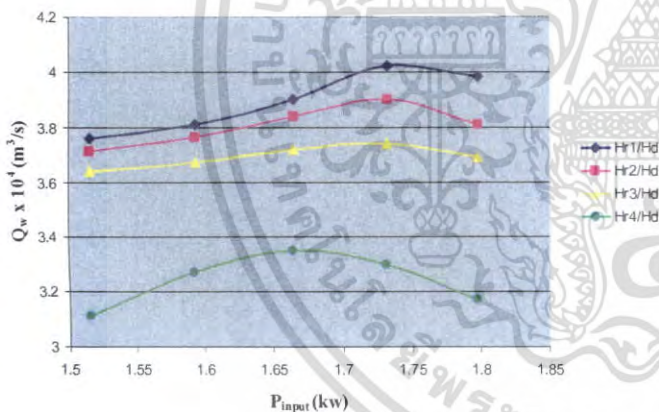
5.5 สรุปผลการทดลองแล้วนำมาเปรียบเทียบกับทฤษฎี

6. ผลการทดลอง

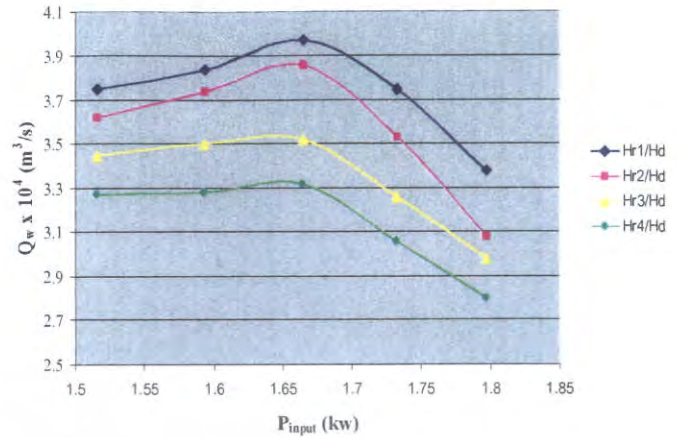
6.1 ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) กับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a)



กราฟที่ 1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) กับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) หรือพลังงานที่ให้ (P_{mpu}) ที่อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อกับพื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d/A_r) เท่ากับ 1



กราฟที่ 1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) กับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) หรือพลังงานที่ให้ (P_{mpu}) ที่อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อกับพื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d/A_r) เท่ากับ 0.4



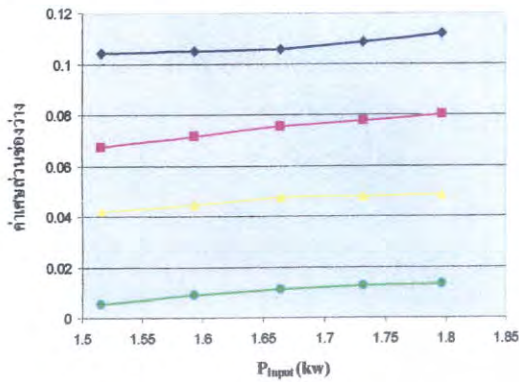
กราฟที่ 1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) กับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) หรือพลังงานที่ให้ (P_{mpu}) ที่อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อกับพื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d/A_r) เท่ากับ 0.3

วิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) กับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a)

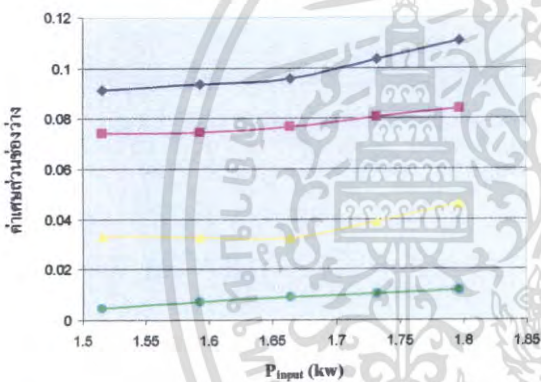
กราฟที่ 1.1 – 1.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) กับพลังงานที่ให้ (P_{mpu}) จากการทดลองพบว่าที่อัตราส่วนความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Riser ต่อความลึกของจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Downcomer (H_r/H_d) ใดๆ เมื่อเพิ่มพลังงานที่ให้ (P_{mpu}) หรือเป็นการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) จะทำให้อัตราการไหลของน้ำ (Q_w) มากขึ้น เนื่องจากเมื่ออัตราการไหลของอากาศ (Q_a) เพิ่มขึ้นจะทำให้ ปริมาณอากาศในด้าน Riser มีมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นเฉลี่ยทางด้าน Riser ลดลง น้ำจากทางด้าน Downcomer จึงไหลเวียนมาแทนที่เนื่องจากความหนาแน่นที่แตกต่างกัน จากทฤษฎีกลศาสตร์ของไหล ของไหลจะไหลจากที่มีความหนาแน่นสูงไปที่ที่มีความหนาแน่นต่ำกว่า ดังนั้นยิ่งปริมาณอากาศมากขึ้นอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) ก็ยิ่งมากขึ้น และจากกราฟยิ่งจุดพ่นฟองอากาศทางด้าน Riser ยิ่งลึกมาก อัตราการไหลของน้ำ (Q_w) ก็ยิ่งมากตามไปด้วย เมื่อเปรียบเทียบที่อัตราการไหลของอากาศ (Q_a) หรือพลังงานที่ให้ (P_{mpu}) เท่ากัน แต่มีกราฟบางช่วงที่อัตราการไหลของน้ำ (Q_w) ลดลง ทั้งที่เพิ่มพลังงานที่ให้ (P_{mpu}) หรืออัตราการไหลของอากาศ (Q_a) เพิ่มขึ้นซึ่งจะเกิดในช่วงที่พลังงานที่ให้ (P_{mpu}) หรืออัตราการไหลของอากาศ (Q_a) มีค่าสูงมากๆ ที่เป็นเช่นนั้นเนื่องจาก เมื่อเราเพิ่มพลังงานที่ให้ (P_{mpu}) ที่ค่าสูงๆจะมีปริมาณฟองอากาศอยู่ในน้ำมาก และเนื่องจากปริมาณฟองอากาศที่มากนี้อาจจะมากเกินไป แทนที่ฟองอากาศจะช่วยเพิ่มอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) กลับไปหน่วงหรือขัดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำ ซึ่งมักจะเกิดในช่วงที่พลังงานที่ให้ (P_{mpu}) หรืออัตราการไหลของอากาศ (Q_a) มากๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใส่ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

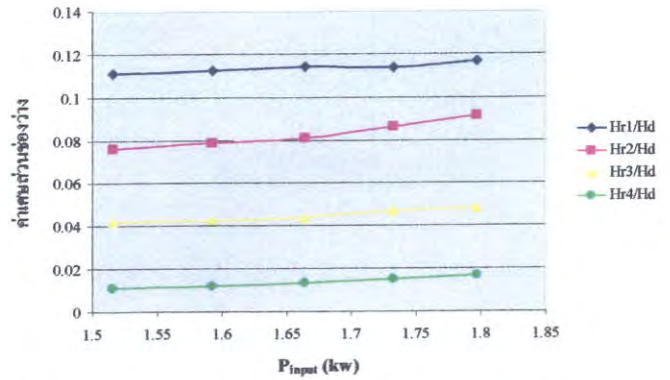
6.2 ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) กับค่าอัตราการไหลของอากาศ (Q_a)



กราฟที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) กับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) หรือพลังงานที่ให้ (P_{input}) ที่อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อพื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d/A_r) เท่ากับ 1



กราฟที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) กับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) หรือพลังงานที่ให้ (P_{input}) ที่อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อพื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d/A_r) เท่ากับ 0.4



กราฟที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) กับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) หรือพลังงานที่ให้ (P_{input}) ที่อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อพื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d/A_r) เท่ากับ 0.3

วิเคราะห์กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) กับค่าอัตราการไหลของอากาศ (Q_a)

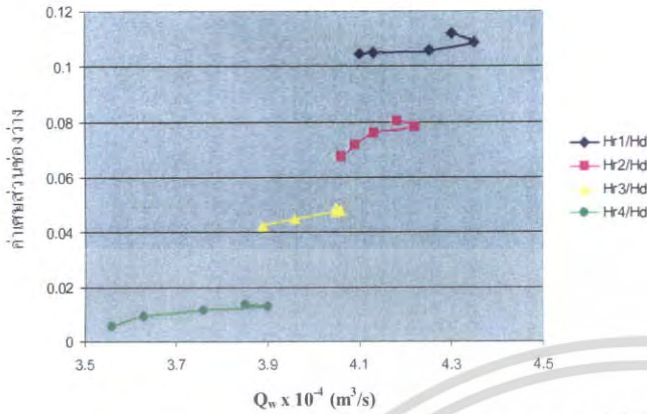
จากกราฟที่ 2.1 - 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) กับค่าอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) จากการทดลองพบว่าที่อัตราส่วนความลึกของจุดฟองอากาศทางด้าน Riser ต่อความลึกของจุดฟองอากาศทางด้าน Downcomer (H_r/H_d) คงที่ เมื่อเพิ่มพลังงานที่ให้ (P_{input}) หรือเป็นการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) จะทำให้ค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) มากขึ้น

$$\text{จากค่าเศษส่วนช่องว่าง } \varepsilon = \frac{V_G}{V_G + V_L}$$

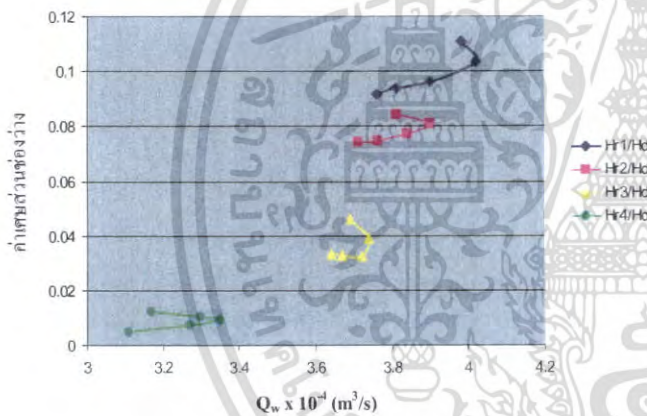
ดังนั้นเมื่อเราเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) ทำให้ค่าปริมาตรของอากาศ (V_G) มากขึ้น ขณะที่ปริมาตรของอากาศ (V_G) เพิ่มขึ้นก็จะไปแทนที่ปริมาตรน้ำ (V_L) ทำให้ปริมาตรของน้ำลดลง จากสมการข้างต้นทำให้ค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) มากขึ้น และจากกราฟยิ่งจุดฟองอากาศทางด้าน Riser ยิ่งลึกมาก ค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) ก็ยิ่งมากตามไปด้วย เมื่อเปรียบเทียบที่อัตราการไหลของอากาศ (Q_a) หรือพลังงานที่ให้ (P_{input}) เท่ากัน เนื่องจากถ้าจุดฟองอากาศทางด้าน Riser ยิ่งลึก จะทำให้ปริมาตรของอากาศ (V_G) ที่อยู่ในน้ำมีค่ามากเนื่องจากระยะจากผิวน้ำถึงจุดฟองอากาศมีค่ามากขึ้น ระยะเวลาที่ฟองอากาศลอยอยู่ในน้ำก็มีค่ามากขึ้น ปริมาตรของอากาศ (V_G) จึงมีค่ามากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

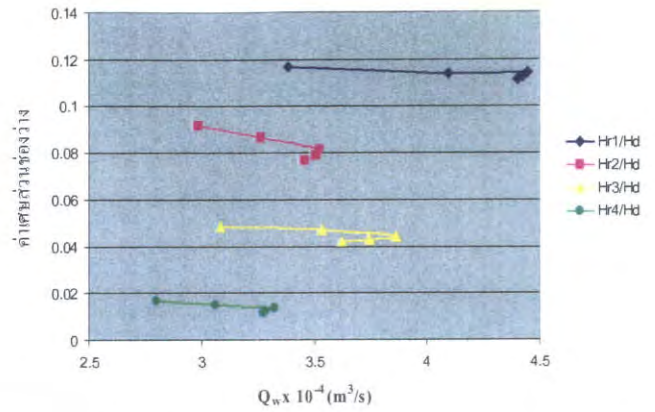
6.3 ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) กับอัตราการไหลของน้ำ (Q_w)



กราฟที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) กับอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) ที่อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อ พื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d/A_r) เท่ากับ 1



กราฟที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) กับอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) ที่อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อ พื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d/A_r) เท่ากับ 0.4



กราฟที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) กับอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) ที่อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อ พื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d/A_r) เท่ากับ 0.3

วิเคราะห์กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) กับอัตราการไหลของน้ำ (Q_w)

จากกราฟที่ 3.1 – 3.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) กับอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) จากการทดลองพบว่าเมื่ออัตราการไหลของน้ำ (Q_w) เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากการเพิ่มพลังงานที่ให้ (P_{input}) หรือเป็นการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) จะทำให้ค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) มีค่ามากขึ้น

$$\text{จากค่าเศษส่วนช่องว่าง } \varepsilon = \frac{V_G}{V_G + V_L}$$

ดังนั้นเมื่อเราเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) ทำให้ค่าปริมาตรของอากาศ (V_G) มากขึ้น ขณะที่ปริมาตรของอากาศ (V_G) เพิ่มขึ้นก็จะไปแทนที่ปริมาตรน้ำ (V_L) ทำให้ปริมาตรของน้ำลดลง จากสมการข้างต้นทำให้ค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) มากขึ้น แต่มีกราฟบางช่วงที่ค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) มีค่ามากขึ้นทั้งที่อัตราการไหลของน้ำ (Q_w) มีค่าลดลง เนื่องจากว่าเมื่อเราเพิ่มพลังงานที่ให้ (P_{input}) ที่ค่าสูงๆจะมีปริมาณฟองอากาศอยู่ในน้ำมาก และเนื่องจากปริมาณฟองอากาศที่มากขึ้นแทนที่ฟองอากาศจะช่วยเพิ่มอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) กลับไปหนึ่งหรือขีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำ ซึ่งมักจะเกิดในช่วงที่พลังงานที่ให้ (P_{input}) หรืออัตราการไหลของอากาศ (Q_a) มากๆ จึงทำให้อัตราการไหลของน้ำ (Q_w) มีค่าลดลง แต่การที่เราเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) มากๆทำให้ค่าปริมาตรของอากาศ (V_G) มากขึ้น ขณะที่ปริมาตรของอากาศ (V_G) เพิ่มขึ้นก็จะไปแทนที่ปริมาตรน้ำ (V_L) ทำให้ปริมาตรของน้ำลดลง จากสมการข้างต้นทำให้ค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. สรุปผลการทดลอง

1. ค่าความลึกของจุดฟุ้งอากาศทางด้าน Riser จาก การทดลองพบว่ายิ่งจุดฟุ้งอากาศทางด้าน Riser ยิ่งลึกมาก อากาศทางด้านด้าน Downcomer จะสามารถไหลวนได้ดี เพราะฉะนั้นสำหรับการทดลองนี้จึงสรุปว่าที่ระยะของจุดฟุ้ง อากาศทางด้าน Riser ที่ระดับ $H_{r,1}$ เหมาะสมที่สุด เพราะฉะนั้นเวลาที่เรากำลังการสร้างเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติม ฟุ้งอากาศในแนวตั้งแบบ Split-cylinder internal-loop จึงควร ติดตั้งระยะของจุดฟุ้งอากาศทางด้าน Riser ให้ลึกที่สุดเท่าที่ จะทำได้

2. ค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) ซึ่งจากการทดลองหา ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) กับอัตราการไหล ของอากาศ (Q_a) และการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า เศษส่วนช่องว่าง (ϵ) กับอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) นั้นค่า เศษส่วนช่องว่าง (ϵ) จะมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของอากาศ (Q_a) เพิ่มขึ้น และสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำ (Q_w) เพิ่มขึ้น เช่นกัน เนื่องเมื่ออัตราการไหลของอากาศ (Q_a) เพิ่มขึ้น อัตรา การไหลของน้ำ (Q_w) ก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน

เมื่อเปรียบเทียบค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) ที่อัตราส่วนความ ลึกของจุดฟุ้งอากาศทางด้าน Riser ต่อความลึกของจุดฟุ้ง ฟุ้งอากาศทางด้าน Downcomer (H_r/H_d) ใดๆ พบว่ายิ่งระยะ จุดฟุ้งอากาศยิ่งสูงค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) จะสูงขึ้นตามไม่ ด้วย เมื่อเปรียบเทียบที่อัตราการไหลของอากาศ (Q_a) หรือ พลังงานที่ให้ (P_{input}) เท่ากัน เนื่องจากถ้าจุดฟุ้งอากาศ ทางด้าน Riser ยิ่งลึก จะทำให้ปริมาตรของอากาศ (V_G) ที่อยู่ใต้น้ำ มีค่ามากเนื่องจากระยะจากผิวน้ำถึงจุดฟุ้งอากาศมีค่ามากขึ้น ระยะเวลาที่ฟุ้งอากาศลอยอยู่ในน้ำก็มีค่ามากขึ้น ปริมาตรของ อากาศ (V_G) จึงมีค่ามากขึ้น

3. อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อ พื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d/A_r) จากการทดลองพบว่า ยิ่งอัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของด้าน Downcomer ต่อ พื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d/A_r) ยิ่งมีค่าน้อย จะทำให้ อากาศทางด้าน Downcomer สามารถไหลวนได้ดีเพราะฉะนั้นจาก การทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่า ค่าอัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัด ของด้าน Downcomer ต่อพื้นที่หน้าตัดของด้าน Riser (A_d/A_r)

เท่ากับ 0.3 สามารถทำให้อากาศทางด้าน Downcomer สามารถ ไหลวนได้ดีที่สุดสำหรับการทดลองนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Christopher Forster. Wastewater Treatment and Technology. Thomas Telford, 2003. p. 122-125.
- [2] Weiland, P. and Onken, U. Difference in the Behaviour of Bubble Columns and Air Lift Loop Reactors. Ger. Chem. Eng. Vol 4, 1981.
- [3] Chisti, M.Y., Airlift Bioreactor. Elsevier Applied Science Publishers LTD, 1989.