



เครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง
(DEEP SHAFT WASTE WATER THREATMENT)



โดย

นาย บุญธรรม ตีอกระโทก
นาย รัชธรรม อายุวัฒน์

วัน เดือน ปี..... ๑๓ ก.ค. ๒๕๔๐.
เลขทะเบียน..... ๑๓๗๐๐๘
เลขเรียกหนังสือ..... T ๑๘๑๐๑ ม ๔๒๑ ค

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิศวกรรมเครื่องกล
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีใดๆ

ปริญญาานิพนธ์ ปีการศึกษา 2538

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง

(DEEP SHAFT WASTEWATER THREATMENT)

ผู้จัดทำ นาย บุญธรรม ด้อยกระโทก รหัสประจำตัว 35104237

นาย รัชธรรม อายูวัฒน์ รหัสประจำตัว 35104342



อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ มณฑล ใจกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง (DEEP SHAFT WASTE WATER TREATMENT)

โดย นาย บุญธรรม ดีชกระโทก รหัสประจำตัว 35104237
นาย รัชธรรม อายวัฒน์ รหัสประจำตัว 35104342

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.มณฑล ใจกุลศล

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาถึงองค์ประกอบต่าง ๆ ทางด้านไฮโดรไดนามิก ที่มีผลต่อเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง ซึ่งมีตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ ระยะฟองฟองอากาศ (H) ค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) และ ค่าอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) และสังเกตว่าฟองอากาศมีลักษณะและการเคลื่อนที่อย่างไร ซึ่งในทางทฤษฎี เราพบว่าฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่และที่ระดับความลึกมาก ๆ จะส่งผลให้การถ่ายเทออกซิเจนให้กับน้ำดีขึ้น ผลที่ได้จากการทดลองสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในระบบจริง ๆ ให้มีประสิทธิภาพในการเติมออกซิเจน จากผลการทดลองพบว่าค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับ ค่าอัตราการไหลของน้ำ (Q_w), ค่าอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) และระยะฟองฟองอากาศ (H) และจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์พบว่าค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับ ค่าอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง

ระบบเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง เหมาะกับบริเวณที่มีที่ดินราคาแพงหรือบริเวณที่มีพื้นที่จำกัดเพราะเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง ใช้พื้นที่น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEEP SHAFT WATER TREATMENT U - TUBE TYPE

Presents Mr. Boontham Duekrathoke Code 35104237

Mr. Ruchatham Aryuwat Code 35104342

Advisor Mr. Monthon Jaikusol

ABSTRACT

This thesis describes the study of the hydrodynamic components that influence to Deep Shaft Waste Water treatment U - tube type, such as the height of bubbles blow point (H), void fraction (ϵ), and air flowrate (Q_a). Then notice there characteristic, size and direction of bubbles. From theory, large bubble is reflected to oxygen transfer to water, so well. The results from this experiment can applied to improve the waste water treatment system for high efficiency.

The results from experiment, void fraction (ϵ) will be increased when the height of bubbles blow point (H), water flowrate (Q_w) and air flowrate (Q_a) increase. The results from mathematic program for void fraction (ϵ) will be increased when water flowrate (Q_w) increases. That give the results as same as the result from the experiment.

The Deep Shaft Waste Water treatment U - tube type can set in small area.

Then we can construct this system for limit or expensive area.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้ สำเร็จลุล่วงด้วยดีด้วยความช่วยเหลือและให้คำแนะนำอย่างดี ของ อาจารย์ มณฑล ใจกุลศล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ตลอดจนคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ยืมอุปกรณ์ , เครื่องมือเพื่อใช้ในทดลอง และให้ทุนอุดหนุนในการทำ ปริญญาานิพนธ์ ขอขอบคุณเพื่อนๆที่ให้ความช่วยเหลืออย่างเต็มที่

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณบิดามารดา คณาจารย์ที่เคยประสาทวิชาให้แก่ผู้วิจัยจนสำเร็จการศึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญตาราง.....	จ
สารบัญภาพและกราฟ.....	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ข้อมูลและรายละเอียดของระบบ Deep Shaft.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศทั่ว ๆ ไป.....	7
ทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบ Deep Shaft.....	14
บทที่ 3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	21
แบบจำลองเครื่องเติมอากาศแบบ Deep Shaft.....	25
บทที่ 4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการทดลอง.....	37
บทที่ 5 ผลการศึกษาและผลการทดลอง.....	41
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง.....	60
ภาคผนวก.....	61
เอกสารอ้างอิง.....	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ของค่าต่างๆ	
เมื่ออัตราการไหลของอากาศ (Q_a) คงที่ $3.13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$	42
ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ของค่าต่างๆ	
เมื่ออัตราการไหลของอากาศ (Q_a) คงที่ $2.72 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$	43
ตารางวัดค่าทางไฮโดรไดนามิก เมื่อกำหนดจุดปล่อยฟอง ลึก 50 cm. (H).....	54
ตารางวัดค่าทางไฮโดรไดนามิก เมื่อกำหนดจุดปล่อยฟอง ลึก 100 cm. (H).....	54
ตารางวัดค่าทางไฮโดรไดนามิก เมื่อกำหนดจุดปล่อยฟอง ลึก 150 cm. (H).....	55

สารบัญภาพและกราฟ

หน้า

ภาพเปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำเสียแบบ conventional activated sludge process และแบบ deep shaft.....	2
ภาพตัดขวางของระบบ deep shaft.....	3
ภาพแสดงความสามารถของการละลายน้ำของอ็อกซิเจน.....	4
ภาพแสดงลักษณะการไหลผ่าน orifice plate.....	22
ภาพแสดงลักษณะแผ่น orifice plate.....	25
ภาพแสดงการติดตั้งวาล์วลูกลอย.....	28
ภาพแสดงเทคนิคการวัดแบบ Inverted U-Tube มานอร์มิเตอร์.....	30
ภาพแสดงอุปกรณ์การทดลองรวม.....	32
ภาพแสดงลักษณะหัวฟันฟองอากาศ.....	33
ภาพอุปกรณ์การทดลองที่ประกอบเรียบร้อยแล้ว.....	34
ภาพด้านข้างแสดงอุปกรณ์ทดลอง.....	35
ภาพด้านหลังแสดงอุปกรณ์ทดลอง.....	36
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะฟันฟองอากาศ (H) กับอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) เมื่อ $Q_a = 3.13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$	45
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) กับระยะฟันฟองอากาศ (H) เมื่อ $Q_a = 2.42 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$	46
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะฟันฟองอากาศ (H) กับค่า void faction (ϵ) เมื่อ $Q_a = 3.13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$	48
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะฟันฟองอากาศ (H) กับค่า void faction (ϵ) เมื่อ $Q_a = 2.42 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$	49
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) กับค่า void faction (ϵ) เมื่อ $Q_a = 3.13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (Q_w)
 กับค่า void fraction (ϵ) เมื่อ $Q_a=2.42 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$52

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) กับ
 อัตราการไหลของน้ำ (Q_w) ที่ระยะพ่นฟองอากาศ (H) ต่างๆ.....56

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า void fraction (ϵ) กับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a)
 ที่ระยะพ่นฟองอากาศ (H) ต่างๆ.....58



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

- Aพื้นที่หน้าตัดทั้งหมด (m^2)
- A_d พื้นที่หน้าตัดขวางส้วมำเสมอทางด้าน Downcomer (m^2)
- A_r พื้นที่หน้าตัดขวางส้วมำเสมอทางด้าน Riser (m^2)
- dเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ (m)
- ϵ ค่าเศษส่วนช่องว่าง
- Hค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศ (m)
- Z_h ระยะแตกต่างตามแนวตั้งของของไหล
- gแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)
- h_a ระยะที่แตกต่างตามแนวตั้งของของเหลวในमानमीเตอรที่ท้อเต็มอากาศ (cm.)
- h_z ระยะที่แตกต่างตามแนวตั้งของของเหลวในमानमीเตอรที่ท้อน้ำ (cm.)
- Q_a อัตราการไหลของอากาศ (m^3/s)
- Q_w อัตราการไหลของน้ำ (m^3/s)
- Tอุณหภูมิ (K)
- tเวลา (s)
- U_{Ld} Superficial Liquid Velocity ด้าน Downcomer
- U_{Lr} Superficial Liquid Velocity ด้าน Riser
- Vปริมาตร (m^3)
- V_a ปริมาตรอากาศ (m^3)
- V_w ปริมาตรน้ำ (m^3)
- V_{Ld} ปริมาตรของของเหลวด้าน Downcomer (m^3)
- V_{Lr} ปริมาตรของของเหลวด้าน Riser (m^3)
- ρ_g ความหนาแน่นของก๊าซ (kg/m^3)
- ρ_m ความหนาแน่นของของเหลวในमानमीเตอร (kg/m^3)
- ρ_l ความหนาแน่นของของเหลวในท้อ Deep Shaft (kg/m^3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรในหน่วยงานนี้ ไม่อนุญาตให้ผู้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวห้อยท้าย

d.....ด้าน Downcomer

r.....ด้าน Riser

M.....มาโนมิเตอร์

G.....ก๊าซ

Lของเหลว

1.....หน้าตัดที่ 1

2.....หน้าตัดที่ 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

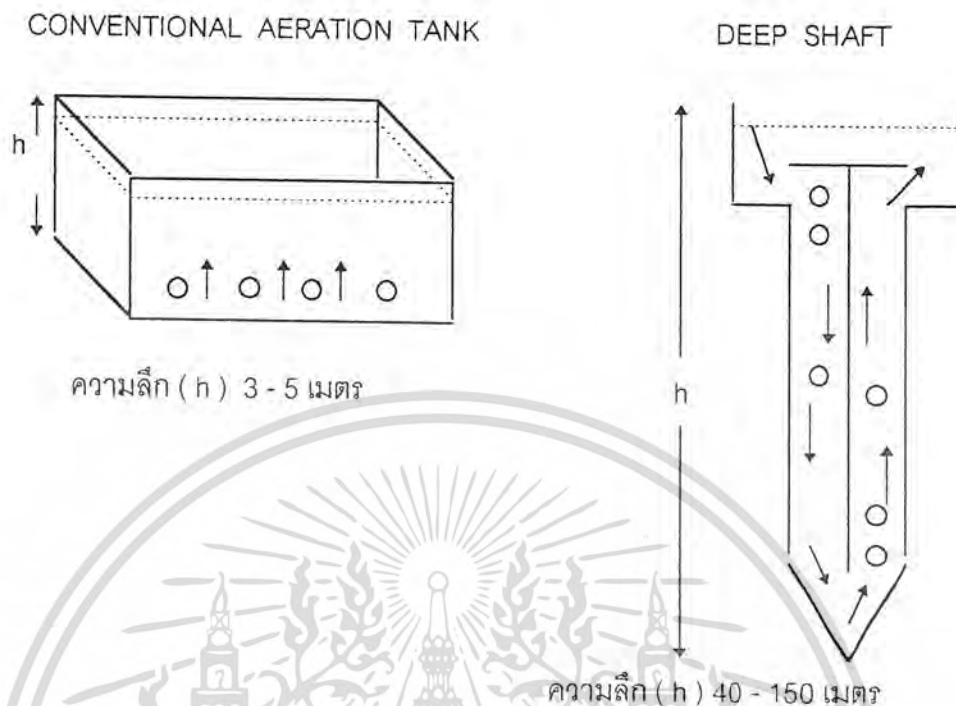
บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความนำ

ในปัจจุบันนี้เรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาที่ต้องได้รับการแก้ไข เรื่องน้ำเสียก็เป็นปัญหาหนึ่งที่สำคัญ และขณะนี้ได้รับความสนใจมากขึ้น ระบบบำบัดน้ำเสียมีการพัฒนา ปรับปรุงและวิจัย ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอโรบิค การเติมออกซิเจนให้น้ำเสียเป็นส่วนที่สำคัญซึ่งอัตราการรับออกซิเจนของน้ำเสียขึ้นอยู่กับพื้นที่สัมผัสของน้ำเสียกับฟองอากาศ และระยะที่ฟองอากาศสัมผัสกับน้ำเสีย ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Conventional Activated Sludge Process เป็นระบบหนึ่งที่นิยมใช้กันมากซึ่งการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีนี้จำเป็นต้องใช้พื้นที่บำบัดน้ำเสียมาก และปัจจุบันนี้ราคาพื้นที่ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลมีราคาที่ดินสูงขึ้นมา ดังนั้นทำให้การลงทุนสร้างระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Conventional Activated Sludge Process สูงตามด้วย

ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Deep Shaft Process เป็นระบบการเติมอากาศโดยใช้พื้นที่ในด้านลึก จะเป็นท่อดิ่งตามแนวตั้งประมาณ 40 - 150 เมตร ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ Upflow และ Downflow Section จึงทำให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำ อันเป็นผลมาจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหลทางด้าน Upflow และ Downflow Section ซึ่งจากข้อความข้างต้นทำให้ระยะเวลาที่ฟองอากาศสัมผัสกับน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Deep Shaft Process มีมากกว่าแบบ Conventional Activated Sludge Process ซึ่งจะอธิบายต่อไป



รูปที่ 1.1 รูปเปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Conventional Activated Sludge Process และแบบ Deep Shaft Process

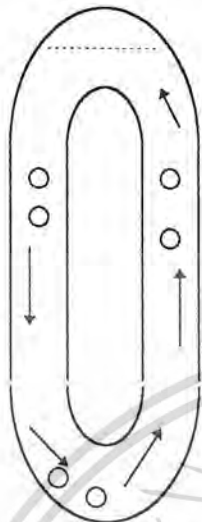
1.2 ข้อมูลและรายละเอียดเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง

ในอดีตนั้น เครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้งได้รับการพัฒนา โดยบริษัท Imperial Chemical Industries (ICI) ในปี 1975 และมากกว่า 17 ปี แล้วที่ระบบบำบัดน้ำเสียระบบนี้ ได้ใช้กันอย่างกว้างขวางแทบทุกประเทศ ซึ่งระบบบำบัดระบบนี้จะมีลักษณะและหลักการทำงานดังนี้

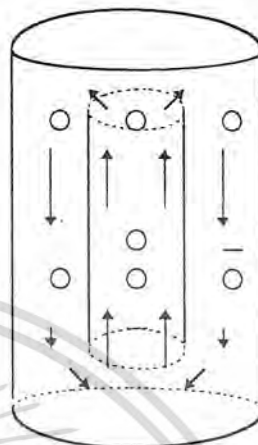
เครื่องเติมฟองอากาศในแนวตั้ง แบ่งได้ 2 แบบ คือ แบบ Internal Loop และแบบ External Loop ดังรูป 1.2 มีลักษณะเป็นท่อลึกตามแนวตั้งประมาณ 40 - 150 เมตร ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ Upflow และ Downflow Section หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Riser Section และ Downcomer Section ซึ่งจะมีการหมุนเวียนของน้ำ อันผลมาจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหล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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[a] EXTERNAL LOOP



[b] INTERNAL LOOP



รูปที่ 1.2 ภาพตัดขวางของระบบ Deep Shaft

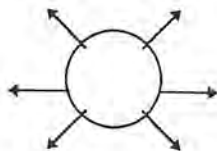
จากลักษณะของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง ที่กล่าวมาแล้วจะทำให้เกิดประโยชน์ทางการใช้พื้นที่ ประสิทธิภาพของการให้ออกซิเจน สมรรถนะ ค่าใช้จ่ายและผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมดีกว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Conventional Activated Sludge Process ดังต่อไปนี้

พื้นที่

พื้นที่ที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้งจะใช้พื้นที่ตามแนวราบประมาณ 10 - 20 % ของแบบ Conventional Activated Process

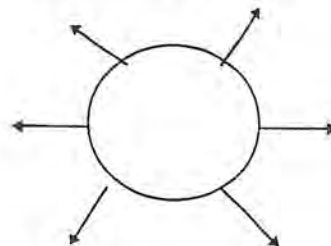
ประสิทธิภาพ

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง จะใช้กำลังงานในการบ่มอากาศ น้อยกว่า 25 % ของแบบ Conventional Activated Sludge Process พร้อมทั้งมีความสามารถที่จะจ่ายออกซิเจนให้กับน้ำได้มากกว่า เนื่องจากในระบบเครื่องเติมฟองอากาศในแนวตั้ง จะมีความลึกของท่อมมาก ดังนั้นความดันของฟองอากาศจะมากกว่าตามความลึกของน้ำ จึงเป็นผลทำให้อากาศมีความสามารถละลายน้ำได้ดี (ดังรูป 1.3)

แบบ Deep Shaft (11 atm)

maximum DO 97 mg / l (20° c)

(ที่ระดับน้ำลึก 100 m)

แบบ Conventional (1 atm)

maximum DO 8.8 mg / l (20° c)

(ที่ความดันบรรยากาศ)

รูปที่ 1.3 แสดงความสามารถของการละลายน้ำของฟองอากาศที่ความดันต่างกัน

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง จะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางด้านเสียง กลิ่นและละอองน้ำน้อย

ซึ่งจากรายละเอียดข้างต้นทำให้สรุปได้ว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้งเป็นระบบที่น่าสนใจและน่าศึกษาในการทำวิจัยต่อไป

1.3 ปัญหาของการโครงการ

ปัญหาที่น่าสนใจและน่าทำการศึกษาขั้นพื้นฐานที่สำคัญของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้งนั้น ทางด้านไฮโดรไดนามิกที่น่าสนใจคือค่าอัตราส่วนช่องว่างหรืออัตราส่วนของปริมาตรของอากาศต่อปริมาตรของอากาศและของเหลวที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อปรับเปลี่ยนค่าความสูงของจุดปล่อยฟองอากาศ และค่าอัตราเร็วของอากาศ

1.4 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.4.1 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะพ่นฟองอากาศ (H) กับอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) เมื่ออัตราการไหลของอากาศ (Q_a) คงที่

1.4.2 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) กับค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) เมื่ออัตราการไหลของอากาศ (Q_a) คงที่

1.4.3 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะพ่นฟองอากาศ (H) กับค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) เมื่ออัตราการไหลของอากาศ (Q_a) คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.4 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) กับอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) เมื่อระยะพ่นพองอากาศ (H) เปลี่ยนไป

1.4.5 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) กับค่าเศษส่วนของช่องว่าง (ϵ) เมื่อระยะพ่นพองอากาศ (H) เปลี่ยนไป

1.5 ความสำคัญหรือประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการนี้

1.5.1 เพื่อจะได้นำความสัมพันธ์ของค่าต่างๆทางด้านไฮโดรไดนามิกที่เกิดในแบบจำลองของเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมพองอากาศในแนวตั้งมาช่วยในการทำนายลักษณะการทำงานที่เกิดขึ้นในระบบจริงได้

1.5.2 จากการศึกษาโครงการครั้งนี้สามารถหาความสัมพันธ์แบบต่างๆทางด้านไฮโดรไดนามิกในเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมพองอากาศในแนวตั้งได้

1.6 ขอบเขตของการศึกษาโครงการ

ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมพองอากาศในแนวตั้ง ในการสร้างจริงจะมีความลึกมาก ใช้เงินลงทุนที่สูง การทดลองเป็นไปด้วยความยากลำบาก ในการทดลองในโครงการนี้จึงมีเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง โดยจำลองขนาดและสถานะให้มีขนาดเล็กลง เพื่อความสะดวกในการทดลอง

1.7 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินโครงการ

1.7.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลและทฤษฎีจากตำราวิชาการหรือเอกสารต่าง ๆ

1.7.2 สร้างแบบจำลองของเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมพองอากาศในแนวตั้ง แบบท่อโค้งรูปตัวยู

1.7.3 ทำการทดลอง ในการทดลองนั้นจะวัดค่าทางด้านไฮโดรไดนามิก คือค่าเศษส่วนของช่องว่าง (ϵ) , ค่าอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) , ค่าอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) , ระยะพ่นพองอากาศ (H) ซึ่งขั้นตอนการทดลองโดยละเอียดจะได้กล่าวต่อไปในบทที่ 4

1.7.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

เนื่องจากประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการครั้งนี้ ขั้นแรกจะต้องศึกษาค่าต่างๆทางด้านไฮโดรไดนามิก ซึ่งอธิบายไว้แล้วในช่วงต้นแล้ว ต่อไปทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อจะศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นทางด้านไฮโดรไดนามิกที่มีต่อแบบจำลองเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมพองอากาศในแนวตั้ง

1.7.5 การสรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7.5 การสรุปผลการทดลอง

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางด้านไฮโดรไดนามิก ที่ระยะพ่นพองอากาศ (H) ต่างๆ ทำให้สามารถทำนายผล แนวโน้มต่าง ๆ ทางด้านไฮโดรไดนามิกในเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมพองอากาศในแนวตั้งได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับเครื่องบำบัดน้ำเสีย แบบเติมฟองอากาศโดยทั่วไป

ระบบกำจัดน้ำทิ้งด้วยวิธีชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจน

หลักการ

การกำจัดน้ำทิ้งด้วยวิธีชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนมีหลายระบบ เริ่มตั้งแต่ระบบ Oxidation Ponds ที่ง่ายที่สุด อาศัยธรรมชาติมากที่สุด และไม่มีเครื่องจักรอุปกรณ์ใด ๆ เลย จนถึงระบบ activated sludge ที่ยุ่งยากและใช้เครื่องจักรกลมากที่สุด อย่างไรก็ตามระบบกำจัดต่างๆ นี้ อาศัยหลักการอันเดียวกันคือ ใช้แบคทีเรียเป็นตัวกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งด้วยปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจน ดังนั้นระบบกำจัดแต่ละระบบจึงแตกต่างกันตรงวิธีการให้ออกซิเจนแก่แบคทีเรีย และการควบคุมปฏิกิริยา

ระบบกำจัดแบบใช้ออกซิเจนจะแบ่งออกได้เป็น 2 พวกใหญ่ ๆ คือ

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

ระบบ Oxidation Ponds

หลักการ ระบบ Oxidation Ponds เป็นระบบการกำจัดน้ำทิ้งที่ง่ายที่สุดและต้องพึ่งธรรมชาติมากที่สุด ระบบ Oxidation Ponds เป็นบ่อดินธรรมดาหรือบ่อดินตาดด้วยคอนกรีตหรือวัสดุอื่นที่กันการรั่วซึมได้ การกำจัดเป็นแบบต่อเนื่องคือน้ำทิ้งจะไหลเข้าและออกจากบ่อตลอดเวลา ในระหว่างที่น้ำทิ้งอยู่ในบ่อกำจัด แบคทีเรียจะทำลาย BOD ในน้ำทิ้งด้วยปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจน ออกซิเจนเกือบทั้งหมดที่แบคทีเรียใช้ในการนี้ได้มาจากการสังเคราะห์แสงของอัลจี เนื่องจากอัตราการเติมออกซิเจนนี้ค่อนข้างต่ำ ดังนั้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจึงถูกจำกัดด้วยปริมาณออกซิเจน อัตราเร็วของปฏิกิริยาการทำลาย BOD จึงค่อนข้างช้า ระบบ Oxidation ponds จึงต้องใช้บ่อที่มีขนาดใหญ่กินเนื้อที่มาก เนื่องจากประสิทธิภาพของ Oxidation ponds ขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนที่จะได้จากการสังเคราะห์แสง ระบบกำจัดนี้จึงใช้ได้ผลดีในบริเวณที่มีแสงแดดมาก

Oxidation Ponds แบ่งออกได้เป็น 2 ระบบคือ high rate ponds และ facultative ponds

1. High rate ponds ระบบนี้ใช้บ่อตื้น ๆ ความลึกไม่เกิน 0.5 เมตร เพื่อให้แสงแดดส่องทะลุถึงก้นบ่อน้ำทิ้งที่จะนำมาบำบัดในบ่อนี้ควรต้องผ่านการกำจัดขั้นต้นแยกตะกอนออกเสียก่อน เพราะบ่อตื้นหากมีตะกอนจะทับถมจนเต็มได้ในเวลาไม่นาน อัลจีในบ่อนี้จะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วเพราะได้รับแสงแดดมากน้ำทิ้งที่ออกจากบ่อจึงมีสีเขียวขุ่นเพราะมีอัลจีอยู่มากหากระบายทิ้งลงในแหล่งน้ำจะทำให้เกิดปัญหาน้ำเสียขึ้นได้ จึงต้องนำน้ำทิ้งจากบ่อ high rate มาแยกอัลจีออก ซึ่งอาจทำได้โดยกักน้ำไว้ในบ่อใหญ่เป็นเวลานานเพื่อให้อัลจีตายและตกตะกอนหรือแยกอัลจีออกโดยตกตะกอนด้วยสารเคมี (chemical coagulation) แล้วแยกตะกอนออกโดยใช้ระบบทำให้ลอย หรือใช้ถังตกตะกอน

2. Facultative ponds ระบบนี้ใช้บ่อลึกประมาณไม่เกิน 2 เมตร ทำให้แสงแดดส่องลงไปไม่ถึงตลอดความลึก การเจริญเติบโตของอัลจีจึงช้ากว่าในบ่อแบบ high rate น้ำทิ้งที่จะกำจัดไม่จำเป็นต้องตกตะกอนก่อน ทำให้เกิดชั้นตะกอนทับถมอยู่ก้นบ่อ ปฏิกริยาชีวเคมีเกิดขึ้นในส่วนบนของบ่อเป็นแบบใช้ออกซิเจน ส่วนปฏิกริยาในส่วนล่างเป็นแบบไม่ใช้ออกซิเจนน้ำทิ้งที่ออกจากบ่อกำจัดแบบ facultative มีอัลจีไม่มากนัก ไม่จำเป็นต้องกำจัดออก

รายละเอียดของระบบ

1. การจัดรูประบบ โดยทั่วไปแล้ว ระบบ Oxidation Ponds จะประกอบด้วยบ่อสองหรือสามบ่อเรียงกันเป็นอนุกรม บ่อที่สองและสามจะทำให้น้ำทิ้งสะอาดยิ่งขึ้นโดยการตกตะกอนอัลจีและลดค่า BOD ต่อไปอีกนอกจากการจัดรูประบบแบบอนุกรมแล้ว ยังอาจจัดรูประบบแบบขนานหรือแบบขนานผสมกับแบบอนุกรมก็ได้

2. การหมุนเวียนของน้ำในระบบ ระบบ Oxidation Ponds จะมีประสิทธิภาพสูงขึ้นหรือรับปริมาณ BOD ได้มากขึ้นถ้ามีการหมุนเวียนของน้ำในระบบ การหมุนเวียนของน้ำในระบบ Oxidation Ponds อาจเป็นได้หลายแบบ การหมุนเวียนของน้ำทำให้เกิดการผสมในบ่ออย่างทั่วถึง ทำให้อัลจีเจริญเติบโตได้เร็วขึ้นและทำลายการแยกชั้นในบ่อ นอกจากนี้ยังเจ็จางน้ำทิ้งที่จะเข้าสู่ระบบอีกด้วย การหมุนเวียนของน้ำในระบบ Oxidation Ponds ทำได้โดยใช้เครื่องสูบน้ำที่เหมาะสมที่สุดได้แก่เครื่องสูบน้ำแบบใบพัด

3. ท่อทางน้ำ ท่อน้ำทิ้งที่เข้าสู่บ่อแรกโดยทั่วไปเป็นท่อเดี่ยว แต่ในกรณีที่บ่อใหญ่มากอาจทำให้น้ำทิ้งแผ่กระจายไม่ทั่วบ่อและจะเกิดเน่าตมบริเวณทางน้ำเข้า จึงควรระบายน้ำเข้าบ่อหลาย ๆ ทาง ท่อน้ำล้นออกจากบ่อก็เช่นกัน อาจระบายน้ำออกที่จุดเดียวหรือหลายจุดก็ได้ ท่อที่เชื่อมระหว่างท่อ ควรจะมีหลายท่อเพื่อให้มีน้ำไหลในท่อเพียง 2/3 ถึง 3/4 ของเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ และความสูญเสียพลังงานสูงสุด (peak head loss) ไม่เกิน 3 - 4 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. คันดิน คันดินควรต้องบดอัดแน่นเพื่อให้รั่วซึม ถ้าจำเป็นจะต้องดาดด้วยคอนกรีตหรือ ดินซีเมนต์ (Soil cement) ความลาดเอียงของคันดินประมาณ 1: 2หรือมากกว่านี้ขึ้นอยู่กับ ลักษณะของดิน

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

ระบบ Aerated Lagoons

หลักการ ระบบ Aerated Lagoons เป็นระบบกำจัดที่ใช้แพร่หลายมากที่สุดระบบหนึ่งในการกำจัดน้ำทิ้งจากชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรงงานกระดาษ โรงงาน ทอผ้า และโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร ถึงปฏิกิริยาของระบบนี้คือบ่อขนาดใหญ่ที่ลึกไม่น้อยกว่า 2 เมตร ปฏิกิริยาการทำลาย BOD โดยแบคทีเรียจะเรียกว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระบบ Oxidation Ponds เพราะมีการเติมออกซิเจนด้วยเครื่องมือกล จึงทำให้การเจริญเติบโตของ แบคทีเรียไม่จำกัดด้วยการเติมออกซิเจน เช่น ในระบบ Oxidation Ponds เนื่องจากบ่อที่ ใสในระบบนี้ลึกกว่าบ่อในระบบ Oxidation Ponds มากและปฏิกิริยาการทำลาย BOD เร็ว กว่าหลายเท่า สำหรับปริมาณ BOD เท่ากันระบบ aerated lagoons จึงใช้พื้นที่น้อยกว่าระบบ Oxidation Ponds ประมาณ 8-10 เท่า

ระบบ aerated lagoons แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

ก) Aerobic Lagoons ได้แก่บ่อที่กำลังเติมเครื่องเติมอากาศ (aerators) พอเพียงที่จะกวน น้ำในบ่ออย่างทั่วถึง จนไม่มีการตกตะกอนเกิดขึ้นในบ่อ ปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นในบ่อจะเป็น แบบออกซิเจนตลอดความลึก โดยปกติน้ำทิ้งที่ออกจากบ่อกำจัดแบบนี้ค่อนข้างขุ่น จำเป็นจะ ต้องแยกตะกอนออกโดยการตกตะกอนในถังตกตะกอนหรือบ่อตกตะกอน

ข) Facultative Lagoons ได้แก่บ่อที่เครื่องเติมอากาศพอเพียงที่จะให้ออกซิเจนแก่ แบคทีเรียตามปริมาณตามที่ต้องการ แต่ไม่เพียงพอที่จะกวนน้ำในบ่ออย่างทั่วถึง ทำให้เกิด การตกตะกอนในบ่อตะกอนจะถูกย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาชีวเคมีแบบไม่ใช้ออกซิเจน เช่น ใน ระบบ Facultative Oxidation Ponds

ข้อดีของระบบ Aerated Lagoons คือการดูแลควบคุมทำได้ง่าย ค่าก่อสร้างต่ำ ไม่ใช่พื้นที่ ดินมากจนเกินไป ไม่มีปัญหาการกำจัดกากตะกอน รับ shock load ได้ดีเพราะมีปริมาตรมาก ไม่มีกลิ่นเหม็นและเหตุเดือดร้อนรำคาญอย่างอื่น และประสิทธิภาพสูงพอควร

ระบบ Activated- Sludge

หลักการ ระบบ Activated - Sludge เป็นระบบกำจัดที่ใช้เครื่องจักรกลมากที่สุด ค่าก่อสร้างและค่าใช้จ่ายในการกำจัดจึงสูงกว่าระบบอื่น ระบบ Activated - Sludge เป็นระบบที่ใช้

กันแพร่หลายและเหมาะสมในกรณีพื้นที่ดินมีจำกัด หรือที่ดินมีราคาแพงมาก และต้องการน้ำทิ้งที่มีคุณภาพสูง

ระบบ Activated - Sludge มีแบบปลีกย่อยหลายแบบ แต่ทุกแบบมีหลักการเหมือนกัน กล่าวคือ ระบบจะต้องประกอบด้วยถังปฏิกริยาซึ่งเป็นถังเติมอากาศ (Aeration Tank) และถังตกตะกอน น้ำทิ้งจะถูกสูบมาเข้าถังเติมอากาศเพื่อทำปฏิกริยากับแบคทีเรีย อัตราการทำลาย BOD โดยแบคทีเรียจะถูกเร่งให้เร็วขึ้น โดยการเพิ่มทั้งปริมาณออกซิเจนและปริมาณแบคทีเรีย ดังนั้นแบคทีเรียจะทำลาย BOD ในน้ำทิ้งและเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว ปริมาณแบคทีเรียในถังเติมอากาศจะมีมากจนจับเป็นตะกอนชั้นใหญ่ ๆ มีสีน้ำตาลเข้มที่เรียกว่า Activated- Sludge น้ำผสมระหว่างน้ำทิ้งกับตะกอนแบคทีเรียในถังเติมอากาศเรียกว่า Mixed Liquor ในถังเติมอากาศจะมีระบบเติมอากาศเพื่อทำหน้าที่ให้ออกซิเจนแก่แบคทีเรียและกวน Mixed Liquor เพื่อให้ตะกอนแบคทีเรียอยู่ในลักษณะแขวนลอยกระจายไปทั่วถังเติมอากาศ หลังจากถูกกักอยู่ในถังเติมอากาศเป็นเวลาหลายชั่วโมง Mixed Liquor จะไหลจากถังเติมอากาศมาเข้าสู่ถังตกตะกอนเพื่อแยกตะกอนแบคทีเรียออก จะได้น้ำทิ้งที่ใสสะอาดและมีค่า BOD ต่ำ ส่วนตะกอนแบคทีเรียที่จมอยู่บนก้นถัง ตะกอนส่วนใหญ่จะถูกสูบเข้าไปถังเติมอากาศ เพื่อรักษาปริมาณแบคทีเรียในถังเติมอากาศให้คงที่ตะกอนแบคทีเรียส่วนเกินที่เกิดขึ้นจากการเติบโตของแบคทีเรียจะต้องนำไปกำจัด

ระบบ Activated- Sludge แบบต่าง ๆ

ระบบ Activated - Sludge มีหลายแบบ แต่ละแบบแตกต่างกันที่การควบคุมการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย และรายละเอียดปลีกย่อยต่าง ๆ สรุปลักษณะที่สำคัญ ประสิทธิภาพและการใช้งานของระบบ Activated - Sludge แบบต่าง ๆ ที่ใช้กันมากได้แก่

1. แบบธรรมดา (Conventional Process) เป็นระบบ Activated - Sludge ที่ใช้กำจัดน้ำทิ้งจากชุมชนที่มีปริมาณมาก ๆ ลักษณะทางชลศาสตร์ในถังเติมอากาศจะเป็นแบบ Plug Flow น้ำทิ้งและ Activated - Sludge ที่หมุนเวียนกลับมาใช้จะไหลเข้าทางตอนหัวของถังเติมอากาศ ใช้เวลาในการเติมอากาศประมาณ 6 ชั่วโมง ปริมาณตะกอนหมุนเวียนประมาณ 25 % - 50 % ของปริมาณน้ำทิ้งเนื่องจากการไหลเป็นแบบ Plug Flow ค่า BOD จึงสูงสุดตรงหัวถังเติมอากาศและค่อย ๆ ลดลงตามความยาวของถัง ทำให้ความต้องการออกซิเจนมีค่าสูงสุดตรงหัวถังเติมอากาศและค่อย ๆ ลดลงตามความยาวของถังเช่นกัน ส่วนอัตราการเติมออกซิเจนนั้น จะมีค่าคงที่ตลอดความยาวของถังเติมอากาศ

2. แบบ Step - Aeration เพื่อไม่ให้ความต้องการออกซิเจนที่หัวถังเติมอากาศมากจนเกินไป ในระบบ Activated - Sludge แบบนี้ น้ำทิ้งจะถูกแบ่งระบายเข้าถังอากาศหลายจุดจะทำให้การใช้ออกซิเจนมีประสิทธิภาพสูงขึ้น วิธีนี้ใช้กันแพร่หลายมากในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ Activated- Sludge แบบธรรมดา

3. แบบ High-Rate หลักการเหมือนแบบธรรมดา แต่ต่างกันตรงที่ใช้เวลาในการเติมอากาศสั้นมาก ประมาณ 1.5 - 3 ชั่วโมง แบคทีเรียจึงทำลาย BOD ได้รวดเร็ว แต่การตกตะกอนของ Activated- Sludge ไม่ดี จึงทำให้น้ำทิ้งขุ่น ระบบนี้มีประสิทธิภาพในการลดค่า BOD ต่ำเพียง 60 - 70 % เท่านั้น ระบบ High-Rate Activated- Sludge จึงเหมาะสำหรับกำจัดน้ำทิ้งที่มีค่า BOD ต่ำ

4. แบบ Biosorption หรือ contact Stabilization ระบบ Activated- Sludge แบบนี้อาศัยหลักการที่ว่า การลดของค่า BOD ในระบบ Activated - Sludge นั้นแบ่งออกได้เป็น 2 ระยะคือ ระยะแรกเกิดขึ้นในช่วงเวลา 20 - 40 นาทีแรก เมื่อน้ำทิ้งผสมกับ Activated - Sludge สารอินทรีย์ในน้ำทิ้งก็จะถูกแบคทีเรียดูดซึมเข้าไปในเซลล์อย่างรวดเร็วจึงทำให้ค่า BOD ลดต่ำลงโดยทันที ระยะที่สองแบคทีเรียจะปล่อยน้ำย่อยออกมาทำลายสารอินทรีย์ที่ถูกดูดซึมไว้ สารอินทรีย์บางส่วนจึงละลายลงไปในน้ำทิ้งอีก ทำให้ค่า BOD กลับสูงเพิ่มขึ้น จากนั้นแบคทีเรียก็จะทำลายสารอินทรีย์ต่อไป จึงทำให้ค่า BOD ลดลง

5. แบบ Complete Mix ลักษณะทางกลศาสตร์ของระบบนี้เป็นแบบ Complete Mix คือ ออกแบบให้น้ำทิ้งและ Activated - Sludge ไหลเข้าถังเติมอากาศสม่ำเสมอตลอดทั้ง เพื่อให้ Mixed Liquor ในถังเติมอากาศเป็นเนื้อเดียวกันหมด (homogeneous) ให้ความต้องการออกซิเจนและอัตราการเติมออกซิเจนเท่ากันทุกจุด ระบบ Complete Mix Activated - Sludge จึงมีเสถียรภาพต่อ Shock loads สูงมาก และสามารถกำจัดน้ำทิ้งที่มีค่า BOD สูงประมาณ 5,000 - 10,000 มก / ล ได้

6. แบบ Extended Aeration ระบบ Activated - Sludge แบบนี้ออกแบบให้การเจริญเติบโตของแบคทีเรียอยู่ใน Endogeneous Phase และเวลาในการเติมอากาศนานมาก เพื่อให้ประสิทธิภาพในกำจัดสูง และต้องการให้ Activated - Sludge ส่วนเกินที่ต้องแยกออกมากำจัดมีน้อยที่สุด เพราะต้องการลดค่าก่อสร้างระบบกำจัดตะกอนส่วนเกินแต่เนื่องจากระยะเวลาในการอากาศนานมาก ถังเติมอากาศจึงต้องมีขนาดใหญ่ ถ้าปริมาณน้ำทิ้งมีมากแล้ว ผลที่ได้จากการใช้แบบ Extended Aeration เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดตะกอนส่วนเกิน จะไม่คุ้มกับผลเสียที่เกิดขึ้น จากการที่ต้องใช้ถังเติมอากาศขนาดใหญ่ในสหรัฐอเมริกา พบว่าระบบ AS แบบนี้เหมาะสำหรับกำจัดน้ำทิ้งประมาณไม่เกิน 1 ล้านแกลลอน/วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) แบบ Oxidation - Ditch ระบบ AS แบบนี้โดยแท้จริงแล้วเป็นระบบ Extended Aeration AS แต่แทนที่จะใช้ถังเติมอากาศเป็นถังลึก 3-4 เมตร รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเหมือนระบบ AS แบบอื่น ๆ จะใช้คูรูปวงรีลึกเพียง 1.50 เมตรแทนถังเติมอากาศ เพื่อต้องการให้การก่อสร้างง่าย ดังใน ดังนั้น Oxidation -Ditch จึงใช้พื้นที่มากกว่าระบบ AS แบบอื่น ๆ เหมาะสำหรับการกำจัดน้ำทิ้งประมาณไม่มากนัก และที่ดินราคาไม่แพงเกินไป ระบบ Oxidation - Ditch นี้ วิศวกรชาวดัชท์ ชื่อ Pasveer เป็นผู้คิดค้นขึ้นจึงเป็นระบบที่ใช้กันมากที่สุดในประเทศฮอลแลนด์

8) แบบ Pure Oxygen เป็นระบบ AS ที่ใหม่ที่สุดโดยใช้แก๊ซออกซิเจนอัดลงไปใน Mixed-Liquor โดยตรงแทนที่จะใช้อากาศ ทำให้แบคทีเรียเจริญเติบโตได้เร็วขึ้น Activated-Sludge จมตัวได้ดีมาก ทำให้สามารถลดขนาดของถังเติมอากาศได้ ปริมาณตะกอนส่วนเกินที่ต้องกำจัดมีน้อยลง และน้ำทิ้งมีออกซิเจนละลายอยู่มาก ข้อเสียก็คือการทำงานจากระบบกำจัดยุ่งยากซับซ้อนขึ้น

ระบบ Deep Shaft

ระบบ Deep Shaft หรือ เครื่องเติมฟองอากาศในแนวตั้ง เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมกับพื้นที่ที่มีปริมาณจำกัด นอกจากประโยชน์จากการใช้พื้นที่แล้ว ระบบนี้ยังมีข้อดีต่าง ๆ ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 1 มีลักษณะเป็นท่อลึกตามแนวตั้งประมาณ 40 - 150 เมตร ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ Upflow และ Downflow Section หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Riser Section และ Downcomer Section ซึ่งจะมีการหมุนเวียนของน้ำ อันผลมาจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหล หรือความแตกต่างของค่าเศษส่วนช่องว่าง (Void fraction) ทางด้าน Riser Section และ Downcomer Section

ระบบเติมอากาศแบบฟองอากาศ

ในระบบแบบนี้ เครื่องเป่าอากาศ (Air blower and Turbo Compressor) จะอัดอากาศความดันต่ำประมาณ 8-10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ผ่านไปตามท่ออากาศเข้าสู่เครื่องกระจายอากาศ (Diffuser) ทำให้อากาศกระจายเป็นฟองลอยขึ้นสู่น้ำ ออกซิเจนในฟองอากาศจะถ่ายเทเข้าสู่ น้ำทิ้งและฟองอากาศจะทำให้น้ำทิ้งในถังเติมอากาศผสมกันอย่างทั่วถึง โดยทั่วไปประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนจะสูงขึ้นถ้าฟองอากาศมีขนาดเล็กและลอยขึ้นสู่น้ำช้า ๆ แต่ฟองอากาศเล็กเกินไป ความต้านทานต่อการถ่ายเทออกซิเจนจากฟองอากาศไปยังน้ำทิ้งจะเพิ่มมากขึ้น และถ้าฟองอากาศลอยขึ้นสู่น้ำช้าเกินไปก็ทำให้น้ำทิ้งในถังเติมอากาศผสมกันไม่ได้ทั่วถึง

เครื่องกระจายอากาศมีหลายแบบ อาจแบ่งออกเป็น 3 ประเภทตามขนาดของฟองอากาศคือ

1) ฟองอากาศขนาดเล็ก (Fine Bubbles) เครื่องเติมฟองอากาศมักเป็นท่อทำด้วยพลาสติกที่มีรูพรุน หรือหุ้มด้วยวัสดุที่มีรูพรุน เครื่องเติมอากาศแบบนี้ต้องการอากาศที่สะอาดปราศจากฝุ่นละออง แสดงเครื่องกระจายอากาศแบบหนึ่ง

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

3) ฟองอากาศขนาดใหญ่ (Coarse Bubbles) เครื่องเติมอากาศเป็นท่อตั้งภายในท่อเป็นเกลียวหรือแผ่นกั้น (Baffles) เพื่อให้อากาศไหลวกไปวนมาอยู่ภายในท่อ จนถูกแรงเฉือน (Shear) ทำให้แตกกระจายเป็นฟอง

เครื่องเป่าอากาศที่ใช้ในระบบเติมอากาศ ไม่ใช่เครื่องอัดลม (Air Compressor) อย่างที่เห็นกันทั่วไป เครื่องอัดลมจะให้อากาศซึ่งมีปริมาณน้อยแต่แรงดันสูง ส่วนเครื่องเป่าอากาศนั้น จะให้อากาศปริมาณมากแต่ความดันต่ำ ซึ่งเท่ากับแรงกดดันของน้ำในถังเติมอากาศรวมกับแรงกดดันที่สูญเสียไปเนื่องจากแรงเสียดทานในระบบท่ออากาศจากตัวเครื่องเป่าอากาศถึงเครื่องกระจายอากาศ โดยทั่วไปความดันที่ต้องการประมาณ 8 ถึง 10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เครื่องเป่าอากาศที่ใช้กันทั่ว ๆ ไป มีสองแบบคือ แบบ Rotary Positive-Displacement แบบ Centrifugal ใช้กันทั่วไปเมื่อต้องการอากาศเกิน 425 ลูกบาศก์เมตรต่ออนาที

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง
ทฤษฎีและวิธีการหาค่าความสัมพันธ์ต่าง ๆ ทางด้านไฮโดรไดนามิก

2.1 ไฮโดรไดนามิกของก๊าซ-ของเหลว

พารามิเตอร์ทางด้านไฮโดรไดนามิกของก๊าซ-ของเหลว ต่าง ๆ ในการออกแบบเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบ deep shaft ที่มีความสำคัญ เช่น เศษส่วนช่องว่าง (ϵ)

2.1.1 เศษส่วนช่องว่าง มีความหมายดังนี้

- เป็นอัตราส่วนของปริมาตรของก๊าซต่อปริมาตรทั้งหมด หรือ
- เป็นอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดที่เป็นก๊าซ ต่อพื้นที่หน้าตัดทั้งหมด

$$\text{ดังนั้น เศษส่วนช่องว่าง} = V_g / V_L + V_g$$

เมื่อ V_g = ปริมาตรของก๊าซในเครื่องบำบัดน้ำเสีย

V_L = ปริมาตรของของเหลวในเครื่องบำบัดน้ำเสีย

โดยที่ เศษส่วนช่องว่างทั้งหมด (ϵ) จะมีความสัมพันธ์กับ เศษส่วนช่องว่างทางด้าน Riser (ϵ_r) และทางด้าน Downcomer (ϵ_d) ดังนี้

ปริมาตรทั้งหมดก๊าซ = ปริมาตรของก๊าซทางด้าน Riser + ปริมาตรของก๊าซทางด้าน Downcomer

$$V_d \cdot \epsilon = V_{Dr} \cdot \epsilon_r + V_{Dd} \cdot \epsilon_d$$

ถ้า $h_{Dr} = h_{Dd} = h_D$

$$h_d (A_r + A_d) \epsilon = h_{Dr} A_r \epsilon_r + h_{Dd} A_d \epsilon_d$$

หรือ $\epsilon = (A_r \epsilon_r + A_d \epsilon_d) / (A_r + A_d)$

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)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ในกรณีเป็นแบบการหมุนเวียนของของเหลวภายใน และสามารถใช้กับแบบการหมุนเวียนของของเหลวภายนอกเมื่อความสูงการกระจายทางด้าน Riser และทางด้าน Downcomer ใกล้เคียงกัน

ความสำคัญของค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) มีหลายอย่าง เช่น กำหนดระยะเวลาของฟองอากาศในของเหลว, กำหนดอัตราการไหลของน้ำหมุนเวียน เป็นต้น

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่างกับความลึกใด ๆ ซึ่งอยู่ในเทอมค่าเศษส่วนช่องว่างที่ความลึกเท่ากับศูนย์ ได้ดังนี้

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

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

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

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

2.1.2 การหมุนเวียนของของเหลว

การหมุนเวียนของของเหลวนั้นเกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหลทางด้าน riser และทางด้าน downcomer ในการวิเคราะห์การไหลต่อเนื่องของของไหลจะต้องใช้หลักการอนุรักษ์มวลสาร (Conservation of mass) กล่าวคือ มวลสารไม่มีการสูญหายหรือเพิ่มขึ้นได้ แต่มวลสารสามารถเคลื่อนย้ายตำแหน่งได้ เนื่องจากมวลของไหลไม่มีการสูญหายหรือเพิ่มขึ้น 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 ในกรณีที่เป็นของไหลอัดตัวยาก (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 ปริมาตรของของไหลที่ผ่านหน้าตัดใด ๆ ต่อหน่วยเวลา

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

เมื่อ X_C = ความยาวของการหมุนเวียนครบ 1 รอบ

$$t_C = \text{เวลาเฉลี่ยสำหรับการหมุนครบ 1 รอบ}$$

จากความเร็วของของเหลว ในการไหลของของเหลวและก๊าซทางด้าน riser และ 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) สามารถใช้แทนกันได้และในสภาวะจริงนั้นการไหลของของเหลวจะมีบางส่วนเกิดฟองอากาศขึ้นในท่อ ดังนั้นจึงใช้ True Linear Liquid Velocity (V_L) แทน Superficial Liquid Velocity (U_L)

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

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

Subscript r = ทางด้าน Riser

Subscript d = ทางด้าน Dowcomer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 สมการของเบอร์เนอลี (Bernoulli)

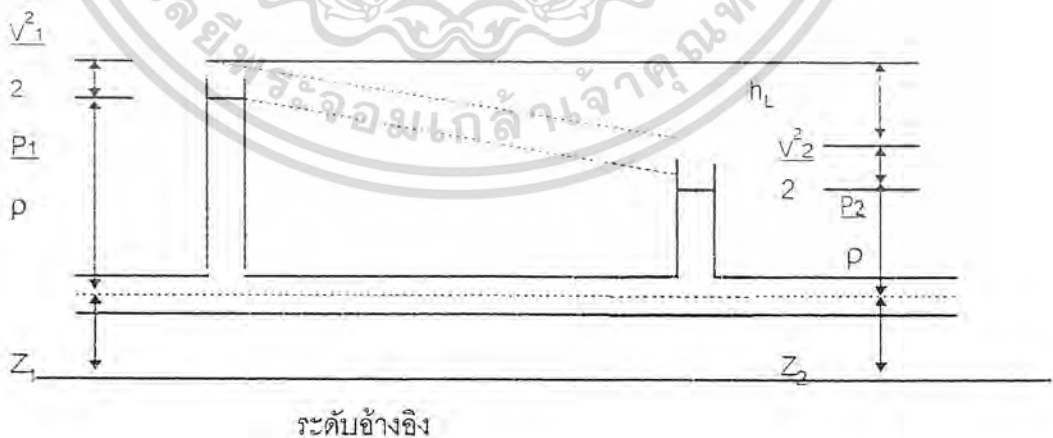
$$gZ + \frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} = C$$

คือ สมการพลังงานของเบอร์เนอลี ใช้สำหรับเงื่อนไขการไหลของของไหล ดังนี้

1. ของไหลจินตภาพ (Ideal) คือ ของไหลที่ไม่มีแรงเสียดทานและอัดตัวได้ยาก (Incompressible)
2. การไหลคงที่ตามเวลา (Steady flow) และเป็นกรไหลอย่างต่อเนื่อง
3. การไหลเป็นไปตามเส้นแนวการไหล
4. ความเร็วกระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดหน้าตัดการไหลและมีค่าเท่ากับความเร็วเฉลี่ย
5. แรงที่กระทำต่อของไหลมีเพียงแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity force) และแรงดัน (Pressure force) เท่านั้น

ในกรณีที่มีการสูญเสียพลังงานเช่น การไหลของของไหลในท่อ การสูญเสียพลังงานในรูปของความสูง h ดังแสดงไว้ในรูป สมการพลังงานคือ

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



รูปที่ 2.1 การสูญเสียพลังงานของของไหลในท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการคณิตศาสตร์ของเครื่องเติมฟองอากาศแบบท่อโค้งรูปตัวยู
สมมุติฐานดังนี้

1. การไหลแบบคงที่
2. คุณสมบัติของของเหลวคงที่
3. การไหลสม่ำเสมอของก๊าซกับของเหลวสม่ำเสมอในแต่ละพื้นที่หน้าตัด
4. ความหนาแน่นของของเหลวคงที่

จาก กำลังงานที่ใส่ของเครื่อง = กำลังงานที่สูญเสียของเครื่อง

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

เมื่อ $E_B + E_T =$ การสูญเสียพลังงาน เนื่องจาก ความเสียดทานของของไหลทางช่วงล่าง
และ ช่วงบนของเครื่อง

$$= (1/2) \rho_L U_{LD}^3 K_B A_d (1 - \epsilon_d)$$

สำหรับเครื่องเติมฟองอากาศแบบท่อโค้งรูปตัวยู การสูญเสียพลังงานทางช่วงบน จะมีค่า
ต่ำเมื่อเทียบกับช่วงล่าง

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } E_B + E_T &= (1/2) \rho_L V_{LD}^3 K_B A_d (1 - \epsilon_d) \\ &= [(1/2) \rho_L U_{LD}^3 K_B A_d (1 - \epsilon_d)] / (1 - \epsilon_d)^3 \\ &= [((1/2) \rho_L K_B A_d) / (1 - \epsilon_d)^2] [(U_{LD} A_d)^3 / A_d] \\ &= [(1/2) \rho_L K_B U_{LD}^3 A_d^3] / [(1 - \epsilon_d)^2 A_d^2] \end{aligned}$$

เมื่อ $K_B = 5.43$

$E_F =$ การสูญเสียพลังงานเนื่องจากการเสียดทานจากผนังท่อ เมื่อมี

การไหลสอง สถานะ

$$= AU_L \Delta P_F$$

ซึ่ง $\Delta P_F / \Delta Z = 2C_F (\rho_L U_L + \rho_G U_G)^2 / d p_D$, $p_D = (1 - \epsilon) \rho_L + \epsilon \rho_G$

และ $C_F = 0.079 \text{Re}^{-0.25} = 0.079 [\rho_L U_L d (1 - \epsilon_r)^{-1} / \mu_L]^{-0.25}$

$E_F =$ การสูญเสียพลังงานเนื่องจากการเสียดทานจากผนังท่อ เมื่อมีการไหล

ของของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$= AU_L \Delta P_F$$

$$\Delta P_F = \rho_L g h, \quad h = [f \Delta h U^2] / dg$$

E_i = กำลังงานที่ใส่เนื่องจาก การขยายตัวของก๊าซเมื่ออุณหภูมิคงที่

$$= QRT \ln (1 + \rho_D g h) / P_h$$

E_R = การสูญเสียพลังงาน เนื่องจากการกระจายคลื่นของฟองอากาศในของ

เหลวทางด้าน Riser

ให้ของเหลวทางด้าน Riser เป็นปริมาตรควบคุม

จากสมการพลังงาน

$$Q_{cv} - (W_S - W_{Shear} - W_{other}) = (d/dt) \int_{cv} \rho_L dV + \int_{cs} (u_L + P/\rho_L + u_L^2/2 + gZ) \rho_L U_L A_r$$

ซึ่ง Q_{cv}, W_S, W_{Shear} และ $(d/dt) \int_{cv} \rho_L dV$ เท่ากับ 0

$$\text{และ } W_{Shear} = -E_i + E_r$$

จากสมการต่อเนื่อง

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

ดังนั้น

U_{Lr} = ค่าคงที่ตลอดหน้าตัดทางด้าน Riser

U_{Ld} = ค่าคงที่ตลอดหน้าตัดทางด้าน Downcomer

$$\begin{aligned} E_i - E_R &= (U_{L1} + P_1/\rho_L + U_{Lr1}^2/2 + gZ_1)(-\rho_L U_{Lr1} A_r) \\ &\quad + (U_{L2} + P_2/\rho_L + U_{Lr2}^2/2 + gZ_2)(\rho_L U_{Lr2} A_r) \\ &= [(U_{L2} - U_{L1}) + (P_2 - P_1)/\rho_L + (U_{Lr2}^2 - U_{Lr1}^2)/2] \\ &\quad + (Z_2 - Z_1)(g)(\rho_L U_{Lr} A_r) \\ &= \{ [(P_{atm} - P_{atm} - \sum (1 - \epsilon_r) \rho_L + \epsilon_r \rho_G)^* g \Delta h_D + g h_D] / \rho_L \}^* (\rho_L U_{Lr} A_r) \end{aligned}$$

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

E_D = การสูญเสียพลังงานเนื่องจากการเคลื่อนที่ของอากาศในของเหลว

ให้ของเหลวทางด้าน downcomer เป็นปริมาตรควบคุม จากสมการพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

027/018

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

$$E_S = \text{การสูญเสียพลังงานเนื่องจากการไหลของของไหลผ่านตัวพ่นอากาศ} \\ = (1/2) C_s \rho_L [U_L^3 A_f (1 - \epsilon_d)]$$

$$C_s = 11.40 A_f^{0.79} / A_f^{0.79}$$

ซึ่งค่าต่าง ๆ จากสมการ ใช้คุณสมบัติตรงช่วงตัวพ่นอากาศ ส่วน A คือพื้นที่หน้าตัดที่มีตัวพ่นอากาศบรรจุอยู่

เมื่อ A_f = พื้นที่ว่างสำหรับการไหลของของไหลผ่านตัวพ่นอากาศ (m^2)

A_B = พื้นที่หน้าตัดของตัวพ่น (m^2)

A_b = พื้นที่ว่างช่วง Draught-tube (m^2)

d = เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ (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_m = อัตราการไหลของอากาศ (mol/s)

R = ค่าคงที่ของอากาศ ($J/K \cdot mol \cdot K$)

T = อุณหภูมิของของไหล (K)

Z = ความสูงของของไหล (m)

μ = ความหนืดของของเหลว ($Pa \cdot s$)

ρ_L = ความหนาแน่นของของเหลว (kg/m^3)

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.1 อธิบายเครื่องมือทดลอง

ก่อนที่จะกล่าวถึงแบบจำลองของเครื่องเติมฟองในแนวตั้งขากล่าวรายละเอียดที่ควรทราบ ดังนี้

เนื่องจากในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้งนั้นจะมีความสูงที่ใช้จริง ประมาณ 40 - 150 เมตร ซึ่งในการทำการทดลอง ถ้าใช้ความสูงที่กล่าวมาแล้ว จะต้องลงทุน ในการสร้างสูงมากและเสียเวลาในการสร้าง และเสียเวลาในการสร้าง พร้อมกันนั้นในการ ทดลองหาค่าต่าง ๆ ทางด้านไฮโดรไดนามิก อาจจะยุ่งยากและลำบากต่อการวัดค่ามากขึ้นด้วย

แต่อย่างไรก็ตามความสำเร็จของการจำลองแบบในการออกแบบและในการทดลองนั้นจะ ต้องขึ้นอยู่กับรูปแบบและลักษณะของเครื่องด้วย ที่จะทำให้ค่าต่าง ๆ ทางด้านไฮโดรไดนามิกมี ผลใกล้เคียงกันด้วย ดังนั้นส่วนประกอบในรูปแบบต่าง ๆ ในเครื่องบำบัดน้ำเสียชนิดนี้ จะต้อง พยายามทำให้ปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในแบบจำลองนั้นไม่มีผลต่อปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น ในเครื่องจริง และรูปแบบในการทดลองนั้นจะต้องให้ผลทางไฮโดรไดนามิก ให้ใกล้เคียงกับรูปแบบจริงด้วย

ข้อที่ควรคำนึงถึงผลกระทบทางด้านรูปร่างที่มีต่อไฮโดรไดนามิกในการออกแบบจำลอง ของเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง ในการทดลองมีดังนี้

ในแบบทดลองที่มีขนาดเล็กมากนั้นผลกระทบทางด้านพื้นผิวและผลกระทบทางด้านขา เข้า ขาออกของของไหลในแบบจำลองจะมีผลต่อไฮโดรไดนามิกอย่างมาก

ความสูงของแบบจำลองที่มีความสูงไม่เพียงพอที่จะมีผลกระทบด้วย เช่น ผลกระทบ ของตัวพ่นฟองอากาศที่ติดตั้งในแบบจำลองจะมีขึ้นด้วย และจะมีสัดส่วนตามปกติตาม ปริมาณของแบบจำลองในแต่ละแบบ

เนื่องจากในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศในแนวตั้งนั้น ในงานจริงจะมีขนาดใหญ่ มากและมีความสูงในการใช้งานจริงประมาณ 40-150 เมตร ซึ่งจะมีความยุ่งยากมากถ้าจะใช้ ขนาดเท่างานจริงดังนั้นจึงสร้างแบบจำลองมาให้มีขนาดและความสูงที่พอเหมาะในการทดลอง และแบบจำลองนี้ต้องมีผลกระทบต่อค่าไฮโดรไดนามิกน้อยที่สุดที่จะทำได้

3.1.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องมือวัด

3.1.1.1 การวัดอัตราการไหลในท่อ

เครื่องมือวัดอัตราการไหลในท่อซึ่งในโครงการนี้ใช้วัดอัตราการไหลของอากาศ

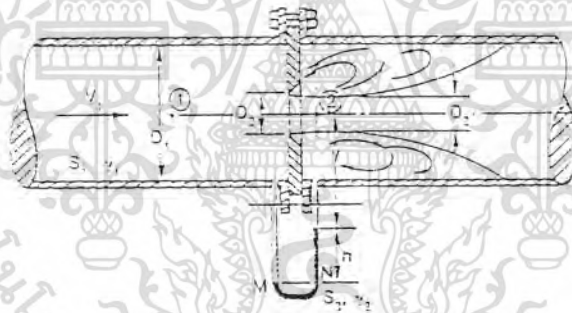
(Q_v) มีหลายลักษณะด้วยกัน แต่ที่นิยมใช้ในปัจจุบันมี 3 แบบ คือ มาตรวัดแบบรูระบาย (orifice meter) , มาตรวัดแบบเวนจูรี (venturi meter) , มาตรวัดแบบหัวฉีด (nozzle) ในโครงการนี้ใช้ มาตรวัดแบบรูระบาย (orifice meter) ซึ่งมีรายละเอียดดังจะกล่าวต่อไป

มาตรวัดแบบรูระบาย (orifice meter) แบบใช้ความดันแตกต่าง

เครื่องมือวัดที่ใช้หลักของความดันแตกต่างนั้นจะใช้หลักการที่นำวัตถุมากีดขวางทางไหลของของไหล นั่นคือ จะทำให้ความดันทางด้านเข้าและด้านออกไม่เท่ากัน แต่การกระทำดังกล่าวจะมีผลต่อความเร็วในการไหลของวัตถุเหล่านั้น

หลักการทำงานของเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบใช้ความดันแตกต่างนี้จะอาศัยทฤษฎีของ Bernoulli ที่กล่าวว่า

ของไหลที่มีอัตราการไหลสม่ำเสมอ (Steady flow) หรือมีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ ที่ปราศจากแรงเสียดทานแล้ว ผลบวกของความเร็ว ความดัน และระดับความแตกต่างของของเหลวในทุกจุดของท่อจะเป็นค่าคงที่



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะการไหลผ่าน orifice plate

กำหนดให้ V_1 = ความเร็วของของไหลที่จุดทางเข้า

V_2 = ความเร็วของของไหลที่จุดที่มีสิ่งกีดขวาง

P_1 = ความดันที่ไม่แปรเปลี่ยนตามเวลาในทางเข้า

P_2 = ความดันที่ไม่แปรเปลี่ยนตามเวลาที่จุดที่มีสิ่งกีดขวาง

A_1 = พื้นที่หน้าตัดของท่อในทางเข้า

A_2 = พื้นที่หน้าตัดของท่อที่มีสิ่งกีดขวาง

Z_1 = ระดับความสูง ณ จุดศูนย์กลางของท่อที่ช่องทางเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

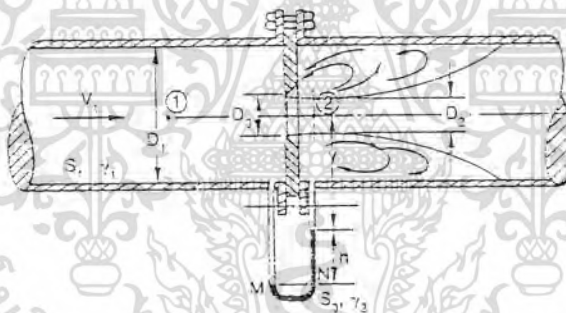
(Q_a) มีหลายลักษณะด้วยกัน แต่ที่นิยมใช้ในปัจจุบันมี 3 แบบ คือ มาตรฐานแบบรูระบาย (orifice meter) , มาตรฐานแบบเวนจูรี (venturi meter) , มาตรฐานแบบหัวฉีด (nozzle) ในโครงการนี้ใช้ มาตรฐานแบบรูระบาย (orifice meter) ซึ่งมีรายละเอียดดังจะกล่าวต่อไป

มาตรฐานแบบรูระบาย (orifice meter) แบบใช้ความดันแตกต่าง

เครื่องมือวัดที่ใช้หลักของความดันแตกต่างนั้นจะใช้หลักการที่นำวัตถุมาเกิดขวางทางไหลของของไหล นั่นคือ จะทำให้ความดันทางด้านเข้าและด้านออกไม่เท่ากัน แต่การกระทำดังกล่าวจะมีผลต่อความเร็วในการไหลของวัตถุเหล่านั้น

หลักการทำงานของเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบใช้ความดันแตกต่างนี้จะอาศัยทฤษฎีของ Bernoulli ที่กล่าวว่า

ของไหลที่มีอัตราการไหลสม่ำเสมอ (Steady flow) หรือมีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ ที่ปราศจากแรงเสียดทานแล้ว ผลบวกของความเร็ว ความดัน และระดับความแตกต่างของของเหลวในทุกจุดของท่อจะเป็นค่าคงที่



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะการไหลผ่าน orifice plate

กำหนดให้ V_1 = ความเร็วของของไหลที่จุดทางเข้า

V_2 = ความเร็วของของไหลที่จุดที่มีสิ่งกีดขวาง

P_1 = ความดันที่ไม่แปรเปลี่ยนตามเวลาในทางเข้า

P_2 = ความดันที่ไม่แปรเปลี่ยนตามเวลาที่จุดที่มีสิ่งกีดขวาง

A_1 = พื้นที่หน้าตัดของท่อในทางเข้า

A_2 = พื้นที่หน้าตัดของท่อที่มีสิ่งกีดขวาง

Z_1 = ระดับความสูง ณ จุดศูนย์กลางของท่อที่ช่องทางเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Z_2 = ระดับความสูง ณ จุดศูนย์กลางของท่อที่จุดที่มีสิ่งกีดขวาง

g = ค่าความเร่งของแรงโน้มถ่วงโลก

ρ = ความหนาแน่นของของไหลภายในท่อ

$$P_1/\rho_1 + V_1^2/2 + gZ_1 = P_2/\rho_2 + V_2^2/2 + gZ_2$$

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

$$\text{นั่นคือ } P_1 - P_2 = (V_2^2/2) \rho [1 - (V_1/V_2)^2]$$

$$V_2 = [2/\rho(P_1 - P_2)]^{1/2} \frac{1}{[1 - (A_2/A_1)^2]^{1/2}} \dots\dots\dots(1)$$

เนื่องจากสภาพการไหลเป็นการไหลแบบต่อเนื่อง ดังนั้นปริมาณการไหลของของไหลที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดใด ๆ ของท่อจะมีค่าเป็น $Q = A_1V_1 = A_2V_2$

แต่ $A_2 < A_0$ หรือ $A_2 < C_c A_0$

ในสภาพความเป็นจริงจะมีการสูญเสียพลังงานในขณะที่ไหลผ่านมาตรวัดรูระบาย คือ

$$V_{2r} = C_v V_2$$

เมื่อ Q คืออัตราการไหล

C_c คือสัมประสิทธิ์การหดตัว

V_{2r} คือความเร็วจริง

C_v คือสัมประสิทธิ์ความเร็ว

ดังนั้น

ที่หน้าตัด (2) มีอัตราการไหล

$$\text{เขียนสมการใหม่ได้เป็น } Q = A_2 V_{2r}$$

$$Q = (C_c A_0)(C_v V_2)$$

จากสมการ (1) จะได้ $V_2 = [2/\rho(P_1 - P_2)]^{1/2}$

$$\frac{1}{[1 - (C_c A_0/A_1)^2]^{1/2}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

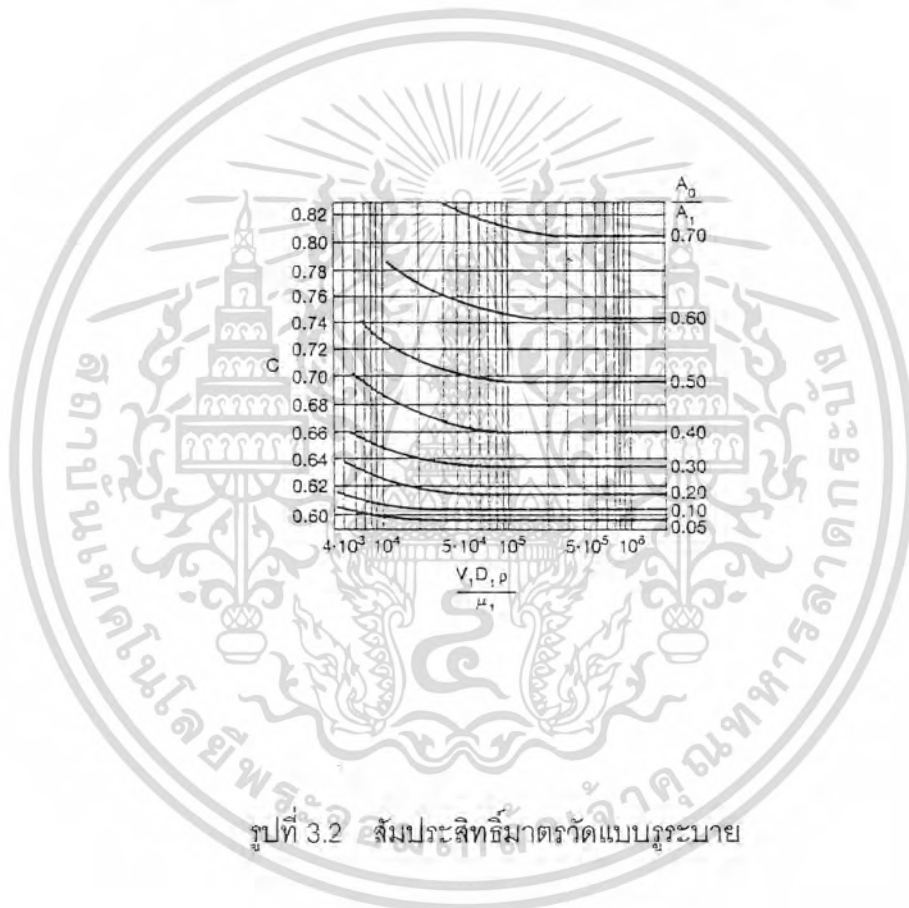
$$Q = \frac{(C_c C_v A_0) [2/\rho(P_1 - P_2)]^{1/2}}{[1 - (C_c A_0/A_1)^2]^{1/2}}$$

ซึ่งค่า

$$(C_c C_v) / [1 - (C_c A_0/A_1)^2]^{1/2} = C$$

จะได้ $Q = C A_0 [2 \Delta P / \rho]^{1/2}$

เมื่อ C คือสัมประสิทธิ์มาตราวัดแบบระบาย ซึ่งหาได้จากรูป 3.2



รูปที่ 3.2 สัมประสิทธิ์มาตราวัดแบบระบาย

ออร์ฟิซเพลท (orifices plate) เป็นแผ่นโลหะบางที่ใช้สำหรับวัดอัตราการไหล ซึ่งในทางอุตสาหกรรมได้เป็นที่นิยมมานานแล้ว ซึ่งจำแนกชนิด ตามตำแหน่งการวาง ได้แก่ แบบศูนย์กลางร่วม (concentric type) แบบศูนย์กลางเยื้อง (eccentric type) และแบบเป็นส่วนหนึ่งของวงกลม (segmental type) ซึ่งในการทดลองนี้ใช้แบบศูนย์กลางร่วม - แผ่นออร์ฟิซเพลท แบบศูนย์กลางร่วม ลักษณะเป็นแผ่นโลหะที่มีรูกลมอยู่ตรงกลางผิวหน้า ด้านหนึ่งจะเรียบตั้งฉากกับแกนของท่อ อีกด้านหนึ่งจะผายออกเฉียงทำมุมกับผิวหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะแผ่น orifice plate

3.1.1.2 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ (Q_w)

การวัดอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) สามารถวัดจาก การวัดปริมาณน้ำที่ล้นออกจากแบบจำลองเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง แล้วจับเวลา

วิธีการ

เมื่อเติมฟองอากาศให้กับแบบจำลองเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง น้ำจะล้นออกมา รอจนกว่าอัตราน้ำที่ล้นออกมาสม่ำเสมอ ให้เริ่มจับเวลาพร้อมกับน้ำถึงไปรองรับน้ำที่ล้นออกจากแบบจำลองเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง เมื่อทดลองเสร็จนำน้ำในถังรองรับไปตวงวัดปริมาตร แล้วนำมาหารด้วยเวลาที่ใช้ในการทดลอง ก็จะได้ อัตราการไหลของน้ำ (Q_w)

3.1.2 แบบจำลองของเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบ deep shaft

แบบจำลองของเครื่องที่ใช้ในการทดลองในเรื่องนี้ นับได้ว่าเป็นเครื่องมือที่สำคัญที่สุดในการทดลองซึ่งเครื่องนั้นจะมีลักษณะหลายรูปแบบ แต่ในการทดลองในโครงการครั้งนี้จะใช้เครื่องที่มีลักษณะเป็นแบบทวนโค้งรูปตัวยู (Internal Loop) โดยสามารถแบ่งส่วนต่าง ๆ ของเครื่องออกเป็น 2 ส่วน อันได้แก่ ส่วนที่เป็น Riser Section ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้ขนาดพื้นที่หน้าตัดเท่ากับส่วน Downcomer Section ดังรูปที่ 3.4 โดยทางด้าน Riser Section จะมีตัวพ่นฟองอากาศ ทำหน้าที่ปล่อยฟองอากาศเพื่อทำให้เกิดการหมุนเวียนของของเหลวภายในเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บำบัดน้ำเสีย ซึ่งเป็นผลทำให้ไม่ต้องใส่กลไกจากภายนอกแทนตัวพ่นอากาศในการหมุนเวียนของของเหลวพร้อมทั้งจะให้ประสิทธิภาพในการดำเนินงานดีกว่าและในขณะเดียวกันนั้นการปล่อยฟองอากาศยังเป็นการเพิ่มปริมาณก๊าซออกซิเจนกับของเหลวอีกด้วย โดยแบบจำลองของเครื่องชนิดนี้ประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

3.1.2.1 ตัวถังของเครื่อง

ในการทดลองในโครงการนี้ใช้เครื่องที่มีลักษณะเป็นท่อโค้งรูปตัว U มีส่วนที่เชื่อมต่อกันที่ส่วนบน โดยมีด้านหนึ่งเป็นท่อด้าน Riser Section โดยที่ด้านนี้ จะมีตัวพ่นอากาศ ทำหน้าที่ปล่อยฟองอากาศเพื่อทำให้เกิดการหมุนเวียนของของเหลวภายในตัวถังของเครื่องเติมอากาศในแนวดิ่ง จะประกอบด้วยท่อทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25 m สูง 1.75 m จำนวน 2 ท่อ เพื่อเป็นท่อทางด้าน Riser Section และ Downcomer Section และท่อโค้งรูปตัว U เลือกใช้ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25 เมตร เท่ากัน สูง 1.75 เมตร เหตุผลที่เลือกใช้ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25 เมตร สูง 1.75 เมตร เพราะสะดวก มีขายตามท้องตลาด ราคาไม่แพงนัก อีกทั้งผิวท่อมีความเรียบทำให้มีผลกระทบทางด้านไฮโดรไดนามิกน้อย ใช้ต่อท่อตรงใส่ท่อทั้ง 2 เข้าด้วยกัน เพื่อทำให้เกิดการหมุนเวียนของของไหล

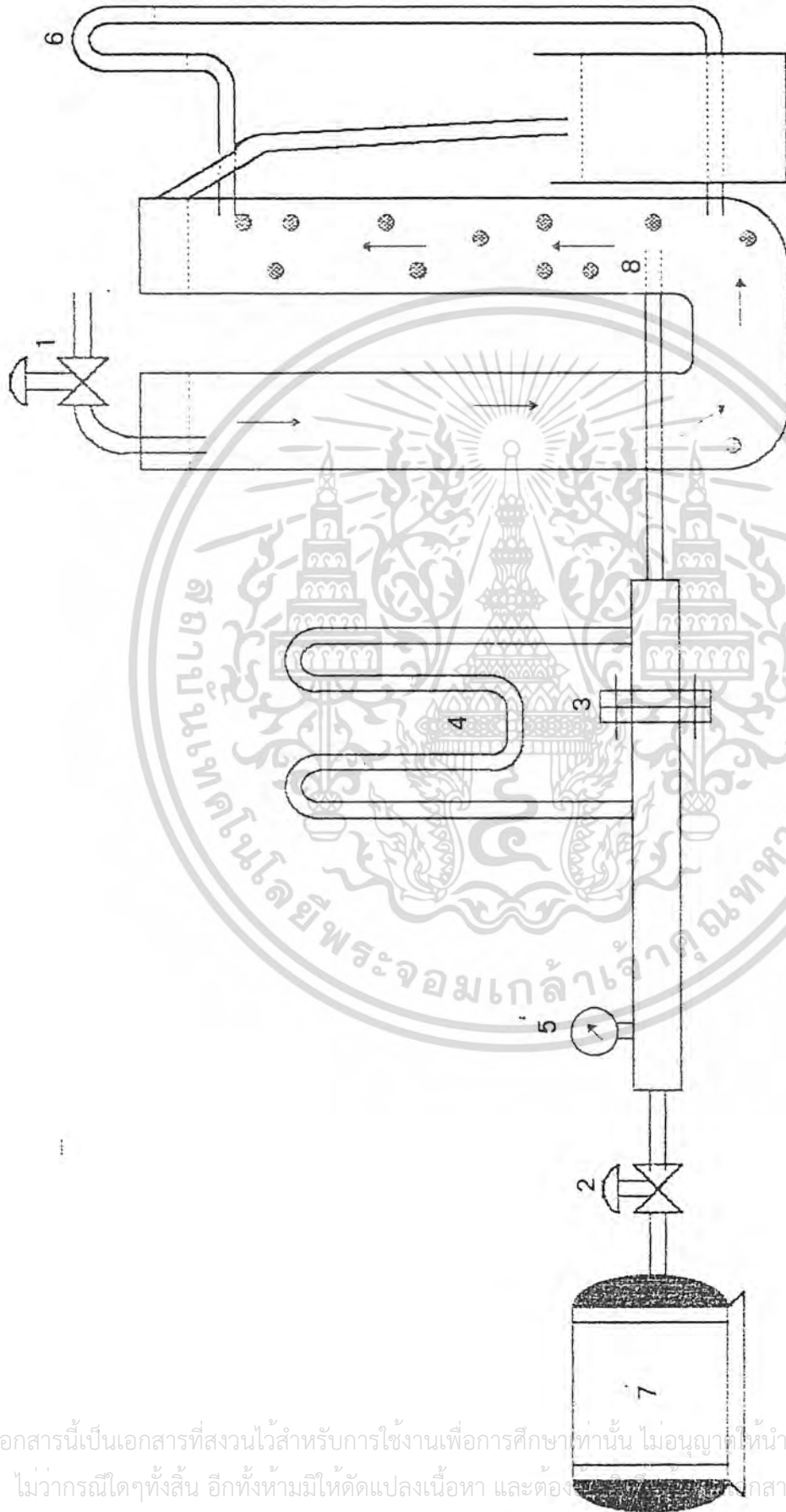
3.1.2.2 ตัวพ่นอากาศ

ตัวพ่นอากาศจะทำหน้าที่พ่นฟองอากาศให้กับของเหลว เพื่อจะทำให้เกิดการไหลเวียนของของไหลในระบบโดยที่ตัวพ่นฟองอากาศ นี้ทำมาจากทองแดง ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อมาร่วมให้เป็นวงแหวนจำนวน 3 วงแหวน และมีขนาดของท่อทั้ง 3 วงแหวนเหมือนกันโดยมีจุดศูนย์กลางวงแหวนตั้งแนวระดับให้ได้ตรงกัน

โดยระดับตัวพ่นอากาศนี้จะต่อกับเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) ซึ่งตัวพ่นฟองอากาศควร จะสูงกว่าช่วงต่อด้านล่างของเครื่องระหว่างด้าน Riser Section และ Downcomer Section เล็กน้อย เนื่องจากถ้าตัวพ่นฟองอากาศอยู่ตรงช่วงต่อหรือต่ำกว่าระหว่าง Riser Section และ Downcomer Section จะเป็นผลทำให้เกิดการรวมตัวกันของฟองอากาศมากขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดการขัดขวางการไหลของของเหลว

3.1.2.3 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressure)

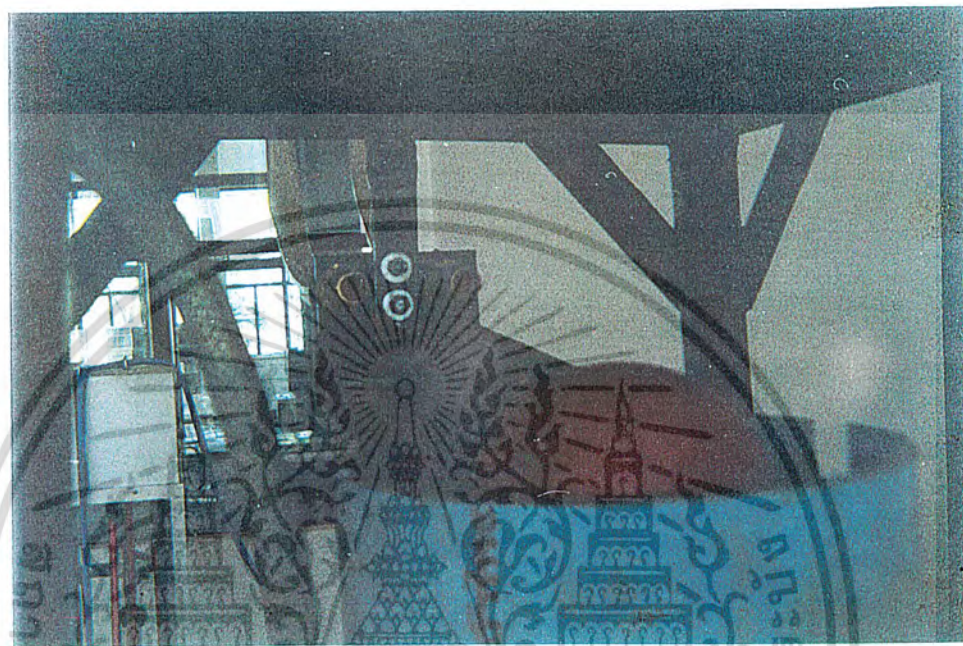
ในการเลือกเครื่องอัดอากาศสำหรับใช้ในการทดลองนี้ เครื่องอัดอากาศ ต้องมีกำลังที่เพียงพอ ซึ่งสามารถบีบอากาศเพื่อให้ฟองอากาศแก่ของเหลวที่นำมาทดลองนั้นได้ โดยระหว่างเครื่องอัดอากาศกับตัวพ่นอากาศนั้นจะมีเตอรืวัดอัตราการไหลของอากาศ และจะมีวาล์วเพื่อสามารถปรับอัตราการไหลของอากาศได้ตามต้องการ



- 1. วาล์ว
- 2. เวกูเลเตอร์
- 3. ดอริฟิซิวัดอีตรากาโรไฮดราท
- 4. มาโนมิเตอร์ที่ขอลม
- 5. มิเตอร์วัดควารมัน
- 6. มาโนมิเตอร์ที่ท่อน้ำ
- 7. เครื่องอัดอากาศ
- 8. ตัวพ่นอากาศ

รูป 3.4 แผนภาพรวมของอุปกรณ์ และเครื่องมื่อที่ใช้ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องแจ้งเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงการติดตั้งวาล์วถูกลอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.4 มิเตอร์วัดอัตราการไหลของอากาศ (Air flow meter)

มิเตอร์ที่ใช้วัดอัตราการไหลในการทดลองครั้งนี้จะใช้เป็นแบบ Orifice Plate ซึ่งจะติดตั้งอยู่ในช่วงของตัวพ่นอากาศ และวาล์วปรับอัตราการไหลของอากาศ ดังรูป 3.4

3.1.2.5 วาล์วเรกกูเลเตอร์ สำหรับในระบบนี้จะมีทั้งวาล์วควบคุมอัตราการไหลของอากาศ (Q_a)

3.1.2.6 วาล์วลูกกลอย สำหรับรักษาระดับน้ำในแบบจำลองเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวดิ่ง เมื่อระดับน้ำในท่อทดลองวาล์วลูกกลอย ก็จะจ่ายน้ำเข้าแบบจำลองเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวดิ่ง

3.1.2.7 ถังพักน้ำ สำหรับพักน้ำที่จะเติมเข้าในแบบจำลองเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวดิ่ง

3.1.2.8 มานอริมิเตอร์ 2 อัน สำหรับวัดผลต่างความดันของน้ำในท่อ อีกอันใช้สำหรับวัดผลต่างความดันท่อลม

3.1.2.9 นาฬิกา สำหรับจับเวลา

3.1.2.10 ถังรับน้ำ ที่ถ่ายเทออกจากแบบจำลองเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวดิ่ง

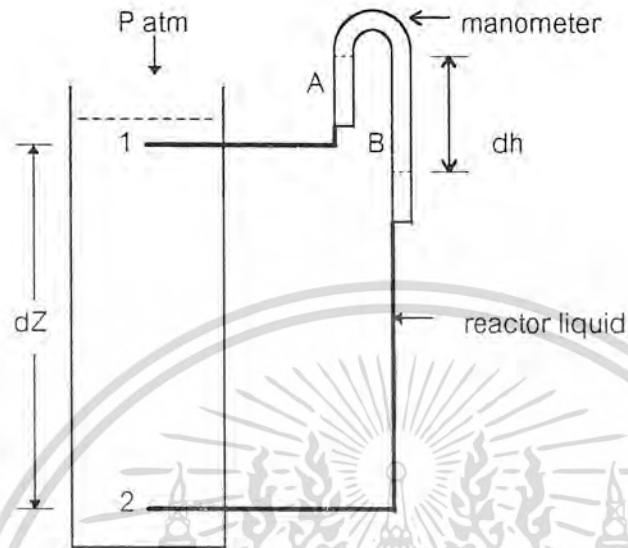
3.2 การวัดข้อมูลและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

การวัดข้อมูลเพื่อหาค่าต่าง ๆ ทางด้านไฮโดรไดนามิกนั้นจำเป็นจะต้องวัดค่าที่สำคัญ ซึ่งเมื่อทำการวัดค่าต่าง ๆ เสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงค่อยคำนวณหาค่าต่าง ๆ ที่จะต้องใช้เพื่อการวิเคราะห์ต่อไป

3.2.1 ค่าเศษส่วนช่องว่าง

ค่าเศษส่วนช่องว่างที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้จะใช้เทคนิคการวัดแบบ Manometric Technique โดยเครื่องมือที่ใช้วัดนั้นเป็นแบบ Inverted U - Tube Manometer โดยจะติดตั้งมาในมิเตอร์ให้ทางด้านนอกท่อทางด้าน Riser Section โดยวิธีการวัดค่าเศษส่วนช่องว่าง จะมีการคำนวณตามสมการต่อไปนี้

ค่าเศษส่วนช่องว่างเฉลี่ยระหว่างจุด 1 และจุด 2 ของท่อ



รูป 3.6 เทคนิคการวัดแบบ Inverted U-Tube มานอริมิเตอร์

จะได้สมการหาค่าเศษส่วนช่องว่างดังต่อไปนี้

พิจารณาที่ท่อมานอริมิเตอร์ จากสมมติฐานความดัน

$$P_1 \text{ วัดจากมานอริมิเตอร์ด้าน A} = P_1 \text{ วัดจากมานอริมิเตอร์ด้าน B}$$

$$P_A + \rho_L g (dh/2) + \rho_D g dZ = P_B + \rho_L g ((dh/2) + dZ)$$

เมื่อ $P_A = P_B$ จะได้

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

$$\rho_D = \rho_L (1 - (dh/dZ))$$

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

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

จาก $\rho_D = (1 - \epsilon) \rho_L + \epsilon \rho_g$

จะได้ $\rho_L - (1 - \epsilon) \rho_L - \epsilon \rho_g = \rho_L (dh/dZ)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

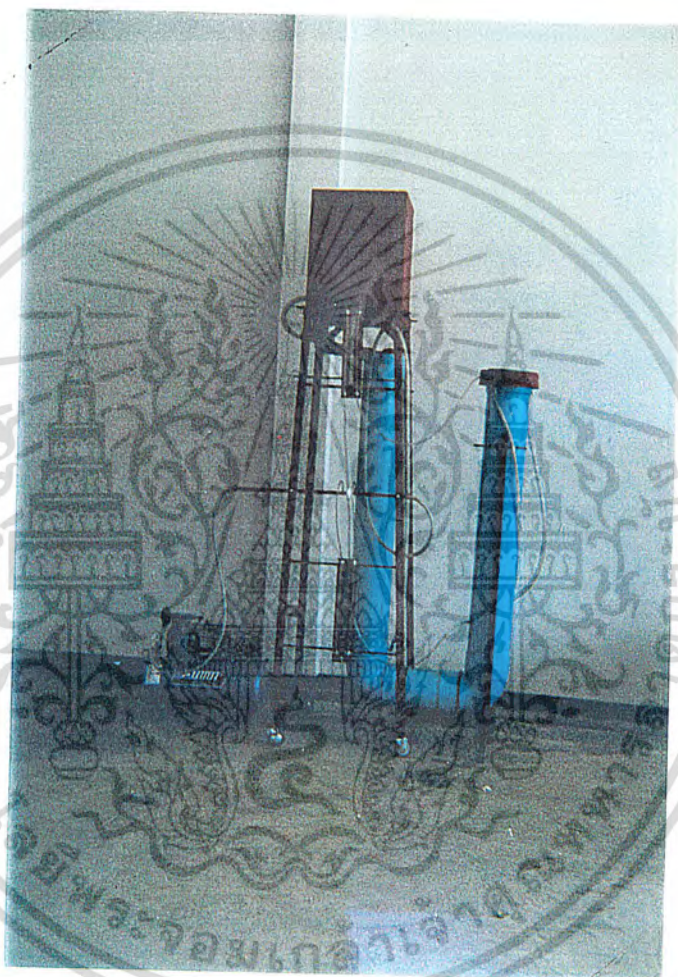
$$\varepsilon = \frac{\rho_L (dh/dZ)}{\rho_L - \rho_G}$$

เมื่อ

- ρ_G = ความหนาแน่นของอากาศ
- ρ_L = ความหนาแน่นของของเหลวในมาโนมิเตอร์
- ρ_D = ความหนาแน่นเฉลี่ยของของเหลวในท่อ riser
- dz = ระยะที่แตกต่างตามแนวตั้งของของไหล
- dh = ระยะที่แตกต่างตามแนวตั้งของของเหลวในมาโนมิเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



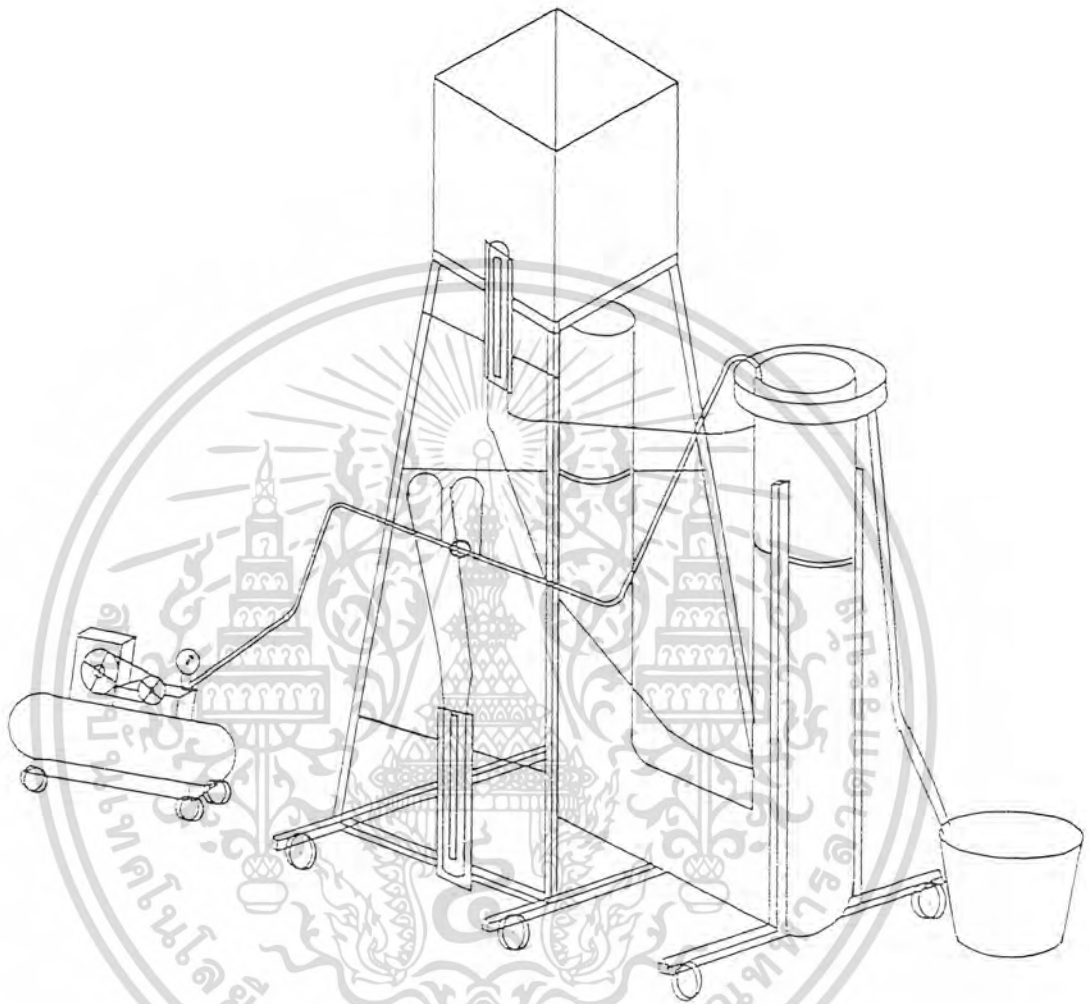
รูปที่ 3.7 ภาพถ่ายอุปกรณ์การทดลองรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



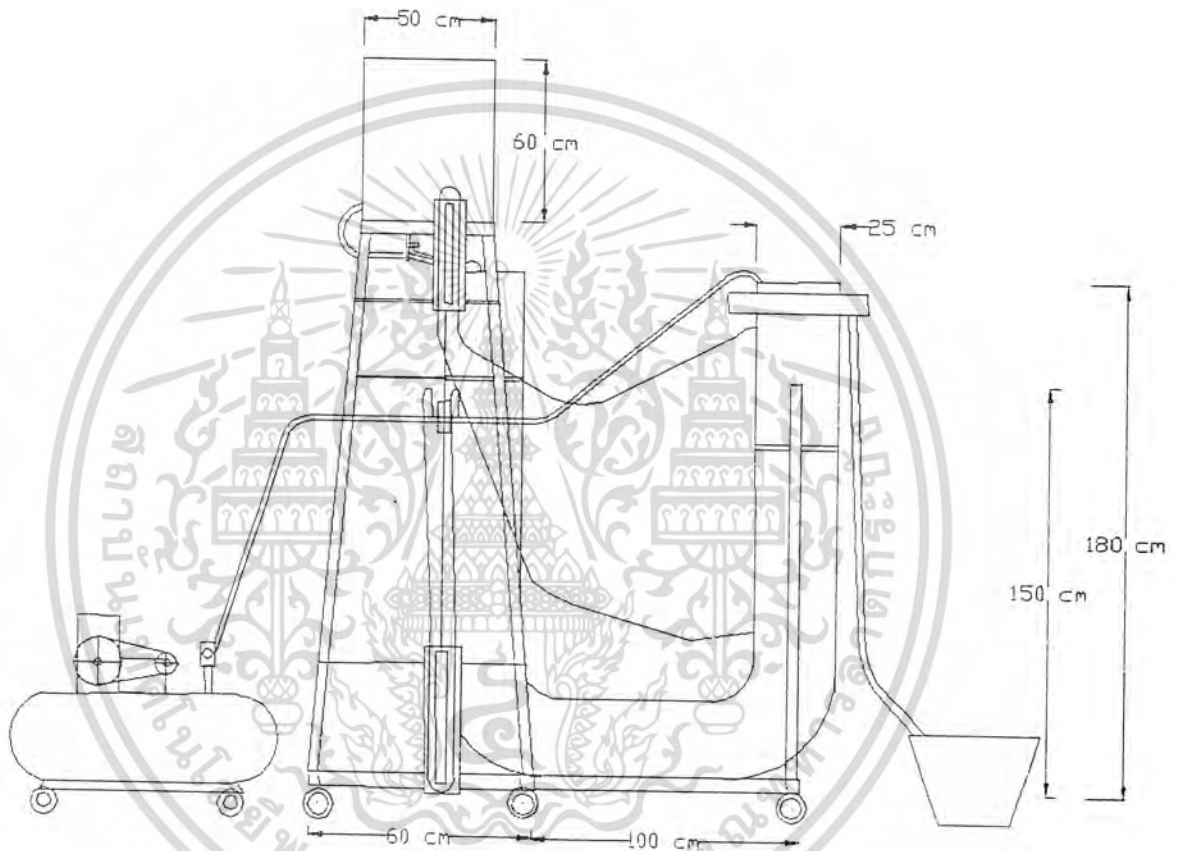
รูปที่ 3.8 ภาพถ่ายหิ้วปล่อยฟองอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



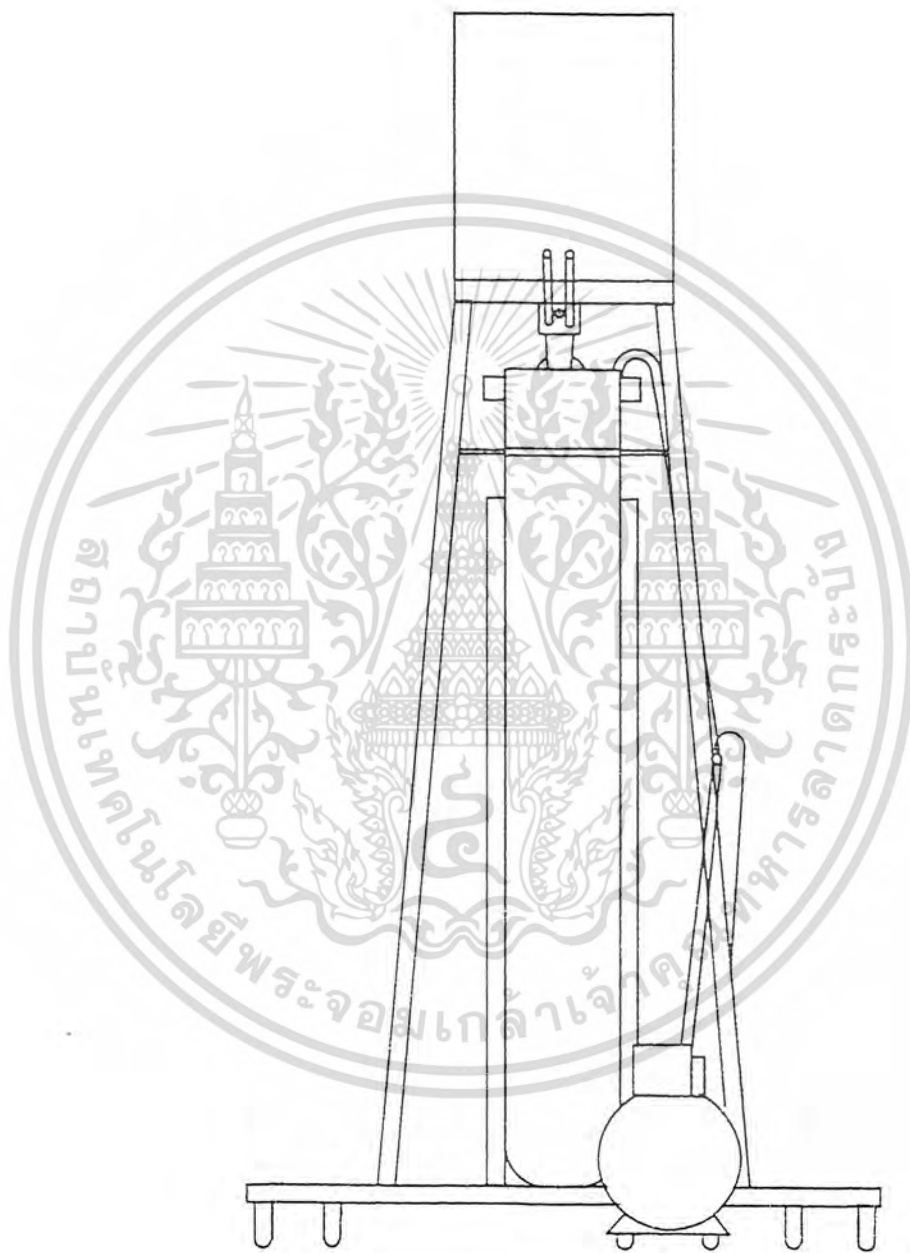
รูปที่ 3.9 แสดงอุปกรณ์การทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 ภาพด้านข้างแสดงอุปกรณ์การทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ภาพด้านหลังแสดงอุปกรณ์การทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ขั้นตอนและวิธีดำเนินการทดลอง

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

1. ค่าความลึกของจุดพ่นฟองอากาศ [H]
2. ค่าเศษส่วนช่องว่าง [ε]
3. ค่าอัตราการไหลของอากาศ [Q_a]
4. ค่าอัตราการไหลของน้ำ [Q_w]
5. ค่าความเร็วของอากาศ [V_a]

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของจุดพ่นฟองอากาศ [H] กับอัตราการไหลของน้ำ [Q_w]

1.1. ตรวจสอบอุปกรณ์ทุกชิ้นให้อยู่ในสภาพพร้อมสำหรับการทดลอง

ก. สวิตช์ของเครื่องอัดอากาศและวาล์วน้ำยังปิดอยู่

ข. วาล์วปรับอัตราการไหลของอากาศและของน้ำยังปิดอยู่

ค. ตรวจสอบระดับของของเหลวในเครื่อง Deep Shaft ให้ได้ตามระดับที่กำหนด

ง. ตรวจสอบระดับของของเหลวในถังพักให้ได้ระดับตามที่กำหนด เมื่ออุปกรณ์ทุกชิ้น

พร้อมแล้ว ให้เริ่มทำการทดลองดังนี้

1.2. จัดระยะจุดพ่นฟองอากาศ [h] ตามระยะที่กำหนด

1.3. เปิดสวิตช์ของเครื่องปั๊มอากาศให้ทำงาน แล้วรอกจนกระทั่งอัดอากาศเต็มที่

1.4. ปรับวาล์วปรับอัตราการไหลของอากาศให้ได้อัตราการไหลตามต้องการ และตั้ง

รักษาให้คงที่ตลอดการทดลองนี้

1.5. เปิดวาล์วน้ำ เพื่อรักษาระดับน้ำในถังพัก เพื่อให้วาล์วลูกกลอยจ่ายน้ำได้ เพื่อรักษาอัตราการไหลของน้ำที่เข้าและออกจากเครื่อง Deep Shaft ให้มีค่าเท่ากัน

1.6. เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ ทำการบันทึกอัตราการไหลของน้ำ [Q_w] และระยะจุดพ่นฟองอากาศ [h] และอัตราการไหลของอากาศ [Q_a]

1.7. เปลี่ยนระดับความสูงของจุดพ่นฟองอากาศ [h] ไปเรื่อย ๆ ตามที่กำหนด แต่

รักษาอัตราการไหลของอากาศ [Q_a] ให้คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.8. ทำการทดลองซ้ำจากข้อ 1.1-1.7
- 1.9. ทำการทดลองจนครบตามที่กำหนด แล้วสวิตช์และวาล์วต่างให้เรียบร้อย
- 1.10. นำค่าที่ได้จากการทดลอง มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะจุดพ่น
ฟองอากาศกับ $[h]$ อัตราการไหลของน้ำ $[Q_w]$

2. ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง $[\varepsilon]$ กับอัตราการไหลของน้ำ $[Q_w]$

- 2.1. ตรวจอุปกรณ์ทุกชิ้นให้พร้อมสำหรับการทดลองตามข้อ 1.1 ก ถึง 1.1 ง เริ่มทำการทดลองดังนี้
- 2.2. จัดระยะจุดพ่นฟองอากาศ $[H]$ ให้ได้ตามที่กำหนดและต้องรักษาให้คงที่ตลอดการทดลองนี้
- 2.3. เปิดสวิตช์ของเครื่องอัดอากาศให้ทำงาน รอจนกระทั่งเครื่องอัดอากาศ อัดอากาศเต็มที่
- 2.4. ปรับวาล์วปรับอัตราการไหลของอากาศ $[Q_a]$ ให้ได้ตามที่กำหนดเพื่อนำไปหาค่าปริมาตรของอากาศ $[V_a]$ ต่อไป
- 2.5. เปิดวาล์วน้ำปรับอัตราการไหลของน้ำเพียงเล็กน้อย เพื่อรักษาอัตราการไหลของน้ำที่เข้าและออกจากเครื่อง Deep Shaft ให้มีค่าเท่ากัน
- 2.6. เมื่อระบบเข้าสู่สมดุล ทำการบันทึกอัตราการไหลของน้ำ $[Q_w]$ อัตราการไหลของอากาศ $[Q_a]$ ระยะจุดพ่นฟองอากาศ $[H]$
- 2.7. คำนวณค่าเศษส่วนช่องว่าง $[\varepsilon]$ แล้วบันทึกไว้
- 2.8. เปลี่ยนอัตราการไหลของอากาศ $[Q_a]$ ไปเรื่อย ๆ ตามที่กำหนด
- 2.9. ทำการทดลองซ้ำจากข้อ 2.1 ถึง 2.8 จนครบตามกำหนดแล้ว ปิดสวิตช์และวาล์วต่าง ๆ ให้เรียบร้อย
- 2.10. นำค่าที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง $[\varepsilon]$ กับอัตราการไหลของน้ำ $[Q_w]$

3. ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศ $[Q_a]$ กับอัตราการไหลของน้ำ $[Q_w]$

- 3.1. ตรวจอุปกรณ์ให้พร้อมสำหรับการทดลองตาม ข้อ 1.1ก ถึง 1.1ง แล้วทำการทดลองดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.2. จัดจุดพ่นพองอากาศให้อยู่ในระยะที่กำหนดและคงที่ตลอดการทดลองนี้
- 3.3. เปิดสวิตช์ของเครื่องอัดอากาศให้ทำงาน รอจนกระทั่งเครื่องอัดอากาศ อัดอากาศเต็มที่
- 3.4. ปรับวาล์วปรับอัตราการไหลของอากาศให้ได้ตามกำหนด
- 3.5. เปิดวาล์วน้ำ เพื่อรักษาอัตราการไหลของน้ำที่เข้าและออกจากเครื่อง Deep Shaft ให้มีค่าเท่ากัน
- 3.6. เมื่อระบบเข้าสู่สมดุลย์ ทำการบันทึกอัตราการไหลของอากาศ [Q_a] อัตราการไหลของน้ำ [Q_w] ระยะจุดพ่นพองอากาศ [H]
- 3.8. เปลี่ยนค่าอัตราการไหลของอากาศใหม่ ตามที่กำหนด
- 3.9. ทำการทดลองซ้ำจาก ข้อ 3.1. ถึง 3.7. จนครบกำหนด
- 3.10. ปิดสวิตช์และวาล์วต่าง ๆ ให้เรียบร้อย
- 3.11. นำค่าที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศ [Q_a] กับอัตราการไหลของน้ำ [Q_w]

ผลการทดลองที่คาดว่าจะได้รับจากการทดลอง

1. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศ [Q_a] กับอัตราการไหลของน้ำ [Q_w] ในขณะที่เราควบคุมระดับความสูงของจุดพ่นพองอากาศไว้คงที่ การเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ [Q_a] จะทำให้พองอากาศมีขนาดใหญ่ขึ้น เพราะขนาดของรูพ่นอากาศมีขนาดเท่าเดิม ทำให้อากาศที่ออกมา มีแรงดันสูงขึ้น พองอากาศที่มีขนาดใหญ่ขึ้นนี้ ทำให้มีขนาดของพื้นที่ผิวมากขึ้น ทำให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างน้ำกับพองอากาศมากขึ้น ทำให้มีการพาหน้าไปกับพองอากาศมากขึ้น เพราะฉะนั้นอัตราการไหลของน้ำ [Q_w] จึงเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของอากาศ [Q_a] เพิ่มขึ้น

2. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษส่วนช่องว่าง [ε] กับอัตราการไหลของน้ำ [Q_w] ในขณะที่เราควบคุมระดับความสูงของจุดพ่นพองอากาศไว้คงที่

$$\text{จาก } \varepsilon = V_g / V_L + V_g$$

เมื่อ ค่าเศษส่วนช่องว่าง [ε] เพิ่มขึ้นแสดงว่าปริมาตรของอากาศ [V_g] มีค่ามากขึ้น ก็จะไปแทนที่ปริมาตรของน้ำ [V_w] เพราะฉะนั้นอัตราการไหลของน้ำ [Q_w] จะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าเศษส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ความสัมพันธ์ระหว่างระยะพ่นฟองอากาศ [H] กับ อัตราการไหลของน้ำ [Q_w]

ขณะที่เราควบคุมอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) ไว้คงที่ ค่าระยะพ่นฟองอากาศ [H] ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ขนาดของฟองอากาศ มีขนาดเล็กลงซึ่งเป็นผลมาจากความดันของน้ำ เพราะจากวิชากลศาสตร์ของไหล เราพบว่าแรงดันของของไหลจะแปรผันตรงกับความลึก $P = \rho gh$ เมื่อระยะพ่นฟองอากาศ [H] เพิ่มขึ้นความดันก็จะเพิ่มขึ้น ทำให้ฟองอากาศมีขนาดเล็กลง ณ จุดที่เราเริ่มพ่นฟองอากาศ แต่เมื่อฟองอากาศลอยสูงขึ้นมาแรงดันที่น้ำกระทำกับฟองอากาศจะมีค่าลดลง ทำให้ฟองอากาศขยายตัวขณะเดียวกันความเร็วของฟองอากาศจะมีค่ามากขึ้นตามระยะความสูงของจุดพ่นฟองอากาศ อัตราการพาไปด้วยก็จะมากขึ้น ทำให้อัตราการไหลของน้ำ [Q_w] เพิ่มขึ้น



บทที่ 5

ผลการศึกษาและผลการทดลอง

การทดลองเรื่องการบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้งชนิดท่อโค้งรูปตัว U (External Loop) ที่มีขนาดท่อทางด้าน Riser Section และ Downcomer Section เลือกใช้ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25 เมตร เท่ากันโดยมีของเหลวบรรจุอยู่ สูง 1.75 เมตร เหตุผลที่เลือกใช้ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25 เมตร สูง 1.75 เมตร เพราะสะดวก มีขายตามท้องตลาด ราคาไม่แพงนัก อีกทั้งผิวท่อมีความเรียบทำให้มีผลกระทบทางด้านไฮโดรไดนามิกน้อย

ซึ่งการทดลองได้ทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ทางด้านไฮโดรไดนามิกระหว่างเศษส่วนช่องว่างกับอัตราการไหลของอากาศที่เติม ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลของน้ำที่ไหลหมุนเวียนกับค่าอัตราการไหลของอากาศที่เติม ความสัมพันธ์ระหว่างระยะความลึกของจุดพ่นฟองอากาศกับค่าเศษส่วนช่องว่าง

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลของน้ำกับค่าเศษส่วนช่องว่าง, ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลของน้ำกับค่าระยะความลึกจุดพ่นฟองอากาศ

Δh_{AIR} (cm)	H (cm)	$\Delta h \rightarrow \varepsilon$ (cm)	t (s)	V_w (cm ³)	$Q_a \cdot 10^{-4}$ (m ³ /s)	$Q_w \cdot 10^{-6}$ (m ³ /s)	ε
0.5	20	0.35	60	80	3.13	13.33	0.0023
	30	0.6	60	2000		33.33	0.004
	40	1.5	30	1500		50	0.01
	50	1.8	20	1400		70	0.012
	60	2.2	20	1550		77.5	0.015
	70	3.1	15	1200		80	0.021
	80	3.4	20	1750		87.5	0.023
	90	3.6	20	1950		97.5	0.024
	100	4.0	20	2000		100	0.03
	110	6.2	15	1830		122	0.041
	120	5.3	15	1600		106.7	0.043
130	7.1	15	1770	118	0.047		

ตารางที่ 1 ทดลองหาความสัมพันธ์ของค่าต่าง ๆ เมื่ออัตราการไหลของอากาศ (Q_a) คงที่ ($3.13 \cdot 10^{-4}$ m³/s)

ทดลองที่ระยะแตกต่างตามแนวตั้งของของไหล (dz) = 1.5 m

เมื่อ Δh_{AIR} คือ ผลต่างความสูงของระดับน้ำในมานอรมิเตอร์ของท่ออากาศ

H คือ ระยะพ่นฟองอากาศ

$\Delta h \rightarrow \varepsilon$ คือ ผลต่างความสูงของระดับน้ำในมานอรมิเตอร์ของท่อ Deep Shaft

t คือ เวลาที่ใช้ในการทดลอง

V_w คือ ปริมาณน้ำที่ล้นออกจากแบบจำลองเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง

Q_a คือ อัตราการไหลของอากาศ

Q_w คือ อัตราการไหลของน้ำ

ε คือ ค่าเศษส่วนช่องว่าง (void fraction)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Δh_{AIR} (cm)	H (cm)	$\Delta h \rightarrow \varepsilon$ (cm)	t (s)	V_w (cm ³)	$Q_a * 10^{-4}$ (m ³ /s)	$Q_w * 10^{-6}$ (m ³ /s)	ε
0.3	20	0.2	30	470	2.42	16	0.0013
	30	0.5	30	460		15.33	0.0033
	40	1.0	30	490		16.33	0.0067
	50	1.5	20	760		38	0.01
	60	1.8	20	840		42	0.012
	70	2.1	20	1450		72.5	0.014
	80	2.9	20	1730		86.5	0.019
	90	3.2	15	1420		94.67	0.021
	100	3.4	10	1110		111	0.023
	110	4.5	10	1200		120	0.03
	120	5.0	10	1200		120	0.033
	130	5.4	10	1500		150	0.036
	140	5.6	10	1650		165	0.037
	150	7.3	10	1750		175	0.049
160	7.0	10	2030	203	0.047		

ตารางที่ 2 ทดลองหาความสัมพันธ์ของค่าต่าง ๆ เมื่ออัตราการไหลของอากาศ
(Q_a) คงที่ ที่ $2.42 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$

ทดลองที่ระยะแตกต่างตามแนวตั้งของของไหล (dz) = 1.5 m

เมื่อ

Δh_{AIR} คือ ผลต่างความสูงของระดับน้ำในมานอรมิเตอร์ของท่ออากาศ

H คือ ระยะพ่นพองอากาศ

$\Delta h \rightarrow \varepsilon$ คือ ผลต่างความสูงของระดับน้ำในมานอรมิเตอร์ของท่อ Deep Shaft

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลงนามแล้วโดยฝ่ายช่างโยธาและโยธาธิการที่โยธาธิการและผังเมืองกรุงเทพมหานคร โดยจะยึดถือเป็นการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- t คือ เวลาที่ใช้ในการทดสอบ
- V_w คือ ปริมาณน้ำที่ล้นออกจากแบบจำลองเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้ง
- Q_a คือ อัตราการไหลของอากาศ
- Q_w คือ อัตราการไหลของน้ำ
- ε คือ ค่าเศษส่วนช่องว่าง (void fraction)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะฟองอากาศ(H)กับอัตราการไหลของน้ำ(Q_w)ที่อัตราการไหลของอากาศ(Q_a) = 3.13*10⁻⁴ m³/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะพ่นพองอากาศ(H)กับอัตราการไหลของน้ำ (Q_w)ที่อัตราการไหลของอากาศ(Q_a) = 2.42*10⁻⁴ m³/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะพ่นฟองอากาศ (H) กับอัตราการไหลของน้ำ (Q_w)

จากรูปกราฟที่ 1 กับ 2 จะพบว่าเมื่ออัตราการไหลของอากาศ (Q_a) คงที่ อัตราการไหลของน้ำ (Q_w) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะจุดพ่นฟองอากาศ (H) กล่าวคือ เมื่อระยะจุดพ่นฟองอากาศลึกขึ้น ค่าอัตราการไหลของน้ำก็จะเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนั้น เพราะ ที่ระดับความลึกมาก ๆ น้ำจะมีแรงดันสูง ทำให้มีฟองอากาศถูกกดอัด และลอยตัวขึ้นสู่อากาศ ระหว่างลอยขึ้นสู่อากาศ ฟองอากาศก็จะขยายตัวด้วย เนื่องจาก แรงดันของน้ำลดลง ฟองอากาศก็จะพาเอาน้ำออกไปลักษณะที่อากาศไปแทนที่น้ำ ทำให้อัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อนำกราฟที่ 1 กับ 2 เปรียบเทียบกัน พบว่าที่อัตราการไหลของอากาศ (Q_a) มากกว่าค่าอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) มากกว่า เพราะอากาศไปแทนที่น้ำ ซึ่งสังเกตได้จากกราฟที่ 1 ที่มีอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) เท่ากับ $3.13 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ กับกราฟที่ 2 อัตราการไหลของอากาศ (Q_a) = $2.42 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ กราฟที่ 1 จะมีอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) มากกว่ากราฟที่ 2 ที่ระยะพ่นฟองอากาศเดียวกัน แต่มีกราฟบางช่วงที่ อัตราการไหลของน้ำลดลง ทั้งที่ระยะพ่นฟองอากาศลึกขึ้น ซึ่งจะเกิดในช่วงที่ความลึกมาก ๆ ที่เป็นเช่นนั้นเพราะ ช่วงที่รอให้ระบบเข้าสู่สภาวะถาวรเกินไป ทำให้น้ำไหลออกจาก Deepshaft ปริมาณมากจนวาล์วลอยไม่สามารถเติมน้ำทัน กราฟจึงคลาดเคลื่อน มักจะเกิดที่ความลึกจุดพ่นฟองเกิน 100 cm.



กราฟที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของอากาศ(H)กับค่าเศษส่วนช่องว่าง(ε)ที่ อัตราการไหลของอากาศ(Q_u) = $3.13 \cdot 10^{-4}$ m³/s

(3) ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะฟองอากาศ(H)กับค่าเศษส่วนช่องว่าง(E)ที่ อัตราการไหลของอากาศ(Q_u) = 2.42×10^{-4} m³/s

(3) ระยะฟองอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะพ่นพองอากาศ(H)กับค่าเศษส่วนช่องว่าง(ϵ)

จากกราฟที่ 3 กับ 4 จะพบว่า เมื่ออัตราการไหลของอากาศ (Q_a) คงที่ ค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะจุดพ่นพองอากาศ (H)

$$\text{จากสมการ } \epsilon = V_g / [V_w + V_g] \dots\dots\dots(1)$$

เพราะที่ระยะจุดพ่นพองอากาศ (H) ลึกมากขึ้นระยะเวลาที่อากาศลอยจากจุดพ่นพองมายังผิวน้ำก็จะนานขึ้นทำให้ปริมาตรอากาศ (V_g) ที่มีอยู่ในน้ำก็จะมากขึ้น ซึ่งจะเป็นผลให้ปริมาตรของน้ำ (V_w) น้อยลง จึงทำให้ค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) จากสมการที่ (1) เพิ่มขึ้นค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) จึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะจุดพ่นพองอากาศ (H)

จากกราฟที่ 3 อัตราการไหลของอากาศ (Q_a) = $3.13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ กับกราฟที่ 4 อัตราการไหลของอากาศ (Q_a) = $2.42 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ พบว่ากราฟที่ 3 จะมีค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) มากกว่ากราฟที่ 4 ที่ระยะจุดพ่นพองอากาศ (H) เดียวกัน เพราะว่าอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) มาก ปริมาตรอากาศ (V_g) ที่มีอยู่ในน้ำก็จะมากขึ้น ซึ่งจะเป็นผลให้ปริมาตรของน้ำ (V_w) น้อยลง จึงทำให้ค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) จากสมการที่ (1) เพิ่มขึ้นเช่นกันสำหรับรูปกราฟบางช่วงที่คลาดเคลื่อนไป เพราะเครื่องมือวัดที่ไม่ละเอียด และปัญหาเรื่องวาล์วลูกกลอยเติมน้ำไม่ทัน เมื่ออัตราการไหลของน้ำ (Q_w) มากๆ และจะเกิดที่ระยะจุดพ่นพองอากาศ (H) ลึกเกิน 100 cm. ขึ้นไป



กราฟที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (Q_v) กับค่าเศษส่วน ช่องว่าง
 (E) ที่อัตราการไหลของอากาศ (Q_a) = 3.13×10^{-4} m³/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) กับค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ)
 ที่อัตราการไหลของอากาศ (Q_a) = 2.42×10^{-4} m³/s

(3) ผลของอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) กับค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ)

จากกราฟที่ 5 กับ 6 จะพบว่าเมื่อเราให้ค่าอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) คงที่ ค่าอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ)

$$\text{จาก } \epsilon = V_g / [V_w + V_g] \dots \dots \dots (1)$$

เมื่ออัตราการไหลของน้ำ (Q_w) เพิ่มขึ้นนั่นก็คือน้ำล้นออกมาเยอะเพราะถูกอากาศแทนที่มากนั่นเองเทียบกับสมการ (1) ได้ว่าเมื่ออัตราการไหลของน้ำ (Q_w) เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาตรของน้ำ (V_w) ลดลง เพราะปริมาตรของอากาศ (V_g) ไปแทนที่ V_w นั่นเอง ขณะที่ V_w ถูกแทนที่ก็จะไหลออกมาก็คืออัตราการไหลของน้ำ (Q_w) ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ)

จากกราฟที่ 5 อัตราการไหลของอากาศ (Q_a) = $3.13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ กับกราฟที่ 6 อัตราการไหลของอากาศ (Q_a) = $2.42 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ กราฟที่ได้จะมีลักษณะเหมือนกันจึงสรุปได้ว่าอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) สำหรับรูปภาพบางช่วงที่คลาดเคลื่อนไปเพราะเครื่องมือวัดที่ไม่ละเอียดและช่วงสุดท้ายกราฟจะคลาดเคลื่อนเพราะเหตุที่ว่าลวดลูกลอยไม่สามารถเติมน้ำได้ทัน ทำให้น้ำล้นออกมาน้อยอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) จึงคลาดเคลื่อน

H (cm)	Δh_a (cm)	V_w (cm ³)	$\Delta h \rightarrow \varepsilon$ (cm)	t (s)	$Q_a \cdot 10^{-4}$ (m ³)	$Q_w \cdot 10^{-6}$ (m ³)	ε
50	0.1	790	1.5	20	1.40	39.5	0.01
	0.2	1100	1.9	20	1.98	55.0	0.013
	0.3	1500	2.0	20	2.43	75.0	0.0133
	0.4	1800	2.3	20	2.80	90.0	0.0153
	0.5	2000	2.5	20	3.13	100	0.0167

ตารางที่ 3 วัดค่าทางไฮดรอดนามิก เมื่อกำหนดจุดปล่อยฟองลึก 50 cm. (H)

H (cm)	Δh_a (cm)	V_w (cm ³)	$\Delta h \rightarrow \varepsilon$ (cm)	t (s)	$Q_a \cdot 10^{-4}$ (m ³)	$Q_w \cdot 10^{-6}$ (m ³)	ε
100	0.1	1000	1.4	20	1.40	50.0	0.0093
	0.2	1690	2.4	20	1.98	84.5	0.016
	0.3	2300	3.8	20	2.43	115	0.0253
	0.4	1500	4.2	10	2.80	150	0.028
	0.5	1350	5.0	10	3.13	135	0.033

ตารางที่ 4 วัดค่าทางไฮดรอดนามิก เมื่อกำหนดจุดปล่อยฟองลึก 100 cm.(H)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H (cm)	Δh_a (cm)	V_w (cm ³)	$\Delta h \rightarrow \varepsilon$ (cm)	t (s)	$Q_a \cdot 10^{-4}$ (m ³)	$Q_w \cdot 10^{-4}$ (m ³)	ε
150	0.1	1230	1.5	20	1.40	61.5	0.01
	0.2	1820	2.9	20	1.98	91.0	0.02
	0.3	1900	4.5	15	2.43	126.7	0.03
	0.4	2330	5.1	15	2.80	155.33	0.034
	0.5	2100	6.7	15	3.13	140	0.045

ตารางที่ 5 วัดค่าทางไฮดรอดนามิก เมื่อกำหนดจุดปล่อยฟองลึก 150 cm. (H)

ทั้งตารางที่ 3,4,5 ทดลองที่ระยะแตกต่างตามแนวตั้งของขงไหล (dz) = 1.5 m

เมื่อ

Δh_{AIR} คือ ผลต่างความสูงของระดับน้ำในมานอริเตอร์ของท่ออากาศ

H คือ ระยะพ่นฟองอากาศ

$\Delta h \rightarrow \varepsilon$ คือ ผลต่างความสูงของระดับน้ำในมานอริเตอร์ของท่อ Deep Shaft

t คือ เวลาที่ใช้ในการทดลอง

V_w คือ ปริมาณน้ำที่ล้นออกจากแบบจำลองเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟอง

อากาศในแนวตั้ง

Q_a คือ อัตราการไหลของอากาศ

Q_w คือ อัตราการไหลของน้ำ

ε คือ ค่าเศษส่วนช่องว่าง (void fraction)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



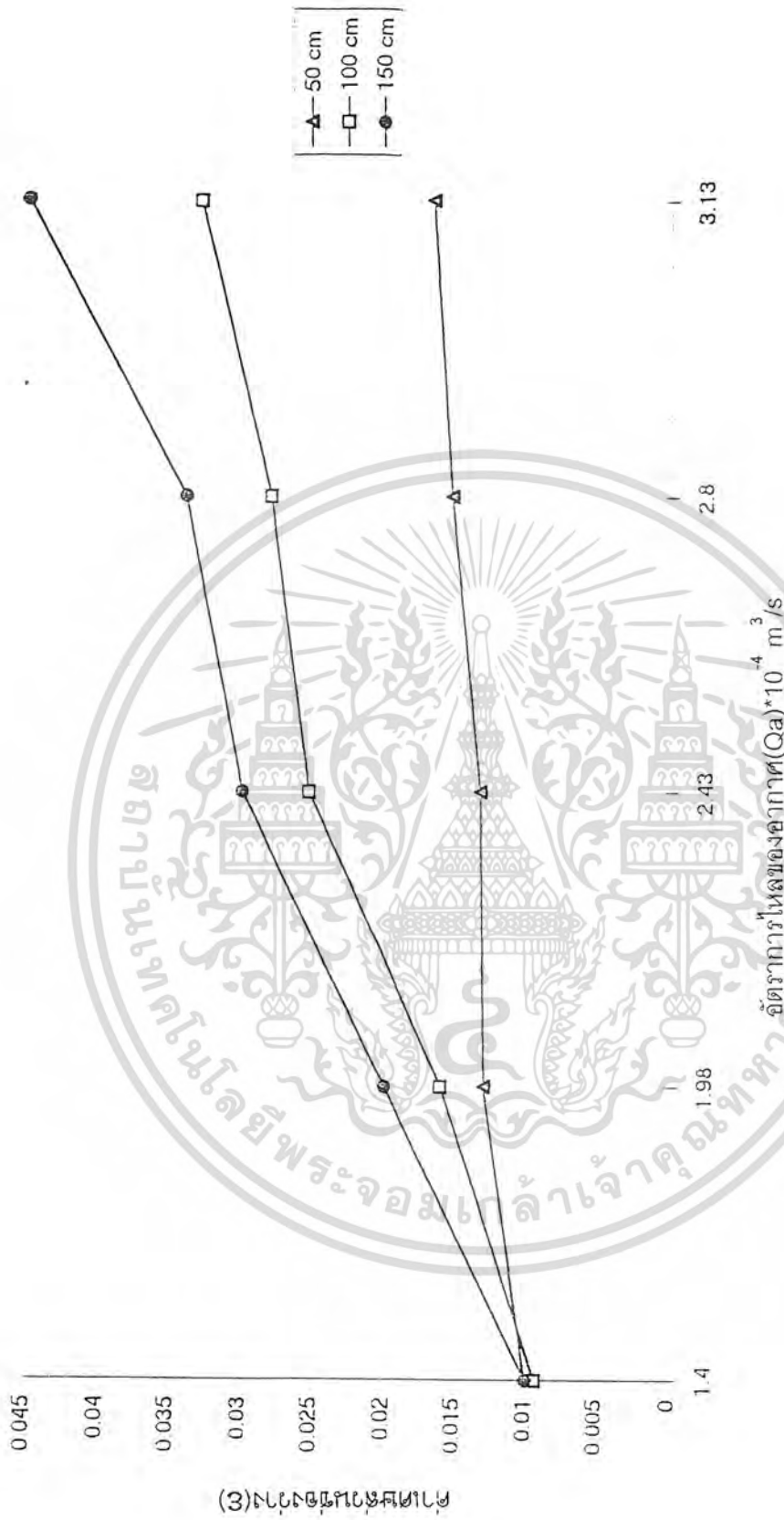
กราฟที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศ (Q_d) กับอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) ที่ระยะจุดพ่นของอากาศ (H) ต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) กับค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε)

กราฟรูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) กับค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) จากการทดลองพบว่าที่ระดับความลึกของจุดพ่นฟองอากาศ (H) โดยเมื่อค่าอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) ที่เติมมากขึ้น อากาศจะลอยตัวไปในน้ำมากขึ้น จะทำให้ค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) มากขึ้น จากค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) = $V_g / V_g + V_w$ ดังนั้นเมื่อ V_g มากขึ้นจะทำให้ค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) มากขึ้น ตามไปด้วยเพราะ เมื่ออัตราการไหลของอากาศ (Q_a) เพิ่มปริมาณฟองอากาศจะลอยตัวอยู่ในน้ำมากขึ้น ทำให้ค่าปริมาตรของอากาศ (V_g) มากขึ้นขณะที่ปริมาตรของอากาศ (V_g) เพิ่มขึ้นก็จะไปแทนที่ปริมาตรของน้ำ (V_w) ทำให้ปริมาตรของน้ำ (V_w) ลดลงจากสมการที่ (1) ค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) จึงเพิ่มขึ้น

พิจารณาที่ระดับความลึกของจุดพ่นฟองอากาศ (H) เปรียบเทียบกัน 3 จุด ซึ่งการทดลองนี้ เลือกใช้ค่า 50, 100 และ 150 cm โดยกำหนดให้ ค่าอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) เท่ากันทั้ง 3 จุด และเพิ่มค่ามากขึ้น จะพบว่าที่ระดับความลึกของจุดพ่นฟองอากาศ (H) มากขึ้นจะให้ที่ ค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) มากขึ้น เนื่องจากว่าเมื่ออัตราการไหลของอากาศ (Q_a) เท่ากัน ที่ระดับความลึกของจุดพ่นฟองอากาศ (H) มากขึ้น ระยะจากผิวถึงจุดพ่นฟองอากาศ (H) ก็มากขึ้นระยะเวลาที่ฟองอากาศลอยอยู่ในน้ำก็มากขึ้นปริมาตรของอากาศ (V_g) เพิ่มขึ้นขณะที่ปริมาตรของน้ำ (V_w) ลดลงเพราะถูกแทนที่ด้วยปริมาตรของอากาศ (V_g) เพราะฉะนั้นจากสมการ(1) และกราฟที่ 7 จึงสรุปได้ว่าค่าเศษส่วนช่องว่าง (ε) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะจุดพ่นฟองอากาศ (H)



กราฟที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศ(Qa)กับค่าเศษส่วนของว่าง(ε)ที่ระยะจุดพ่นของอากาศ(H)ต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) และอัตราการไหลของอากาศ (Q_a)

กราฟรูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) กับอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) จากการทดลองพบว่าที่ระดับความลึกของจุดพ่นฟองอากาศ (H) ใดๆ เมื่ออัตราการไหลของอากาศ (Q_a) ที่เติมมากขึ้นจะทำให้ค่าอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) มากขึ้น เนื่องจากว่าเมื่ออัตราการไหลของอากาศ (Q_a) ที่เติมมากขึ้นปริมาณอากาศจะลอยตัวในดำน Riser section มากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นเฉลี่ยทางด้าน Riser section ลดลง น้ำจากทางด้าน Downcomer section จึงไหลเวียนมาแทนที่เพราะความหนาแน่นที่แตกต่างกัน จากทฤษฎีกลศาสตร์ของไหลของไหลจะไหลจากที่ที่มีความหนาแน่นมากไปยังที่ที่มีความหนาแน่นน้อย ดังนั้นยิ่งปริมาณอากาศที่ลอยตัวด้าน Riser section ยิ่งมากความหนาแน่นที่แตกต่างกันก็ยิ่งมาก อัตราการไหลหมุนเวียนจึงมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย

พิจารณาระดับความลึกของจุดพ่นฟองอากาศ (H) เปรียบเทียบกัน 3 จุด การทดลองนี้เลือกใช้ค่า 50 ,100 และ 150 cm. โดยกำหนดอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) ที่เติมเท่ากันทั้ง 3 จุด และเพิ่มค่ามากขึ้นจะพบว่า ที่ระดับความลึกของจุดพ่นฟองอากาศ (H) มากขึ้น จะมีค่าอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) มากขึ้น เนื่องจากมีปริมาณอากาศแทนที่น้ำมากขึ้นสำหรับช่วงปลายของกราฟ [ที่อัตราการไหลของน้ำ (Q_w) มากๆ] วาล์วลูกกลอยจะเติมน้ำไม่ทันผลการทดลองจึงคลาดเคลื่อน

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

จากข้อความข้างต้นระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมฟองอากาศในแนวตั้งนั้นเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพในการให้ออกซิเจนแก่น้ำทำให้ปริมาณการใช้อากาศลดลง จากประโยชน์ที่กล่าวมาแล้วนั้นพารามิเตอร์ตัวสำคัญที่ควรศึกษาทางด้านไฮโดรไดนามิกที่มีต่อระบบบำบัดน้ำเสียของเครื่องคือ

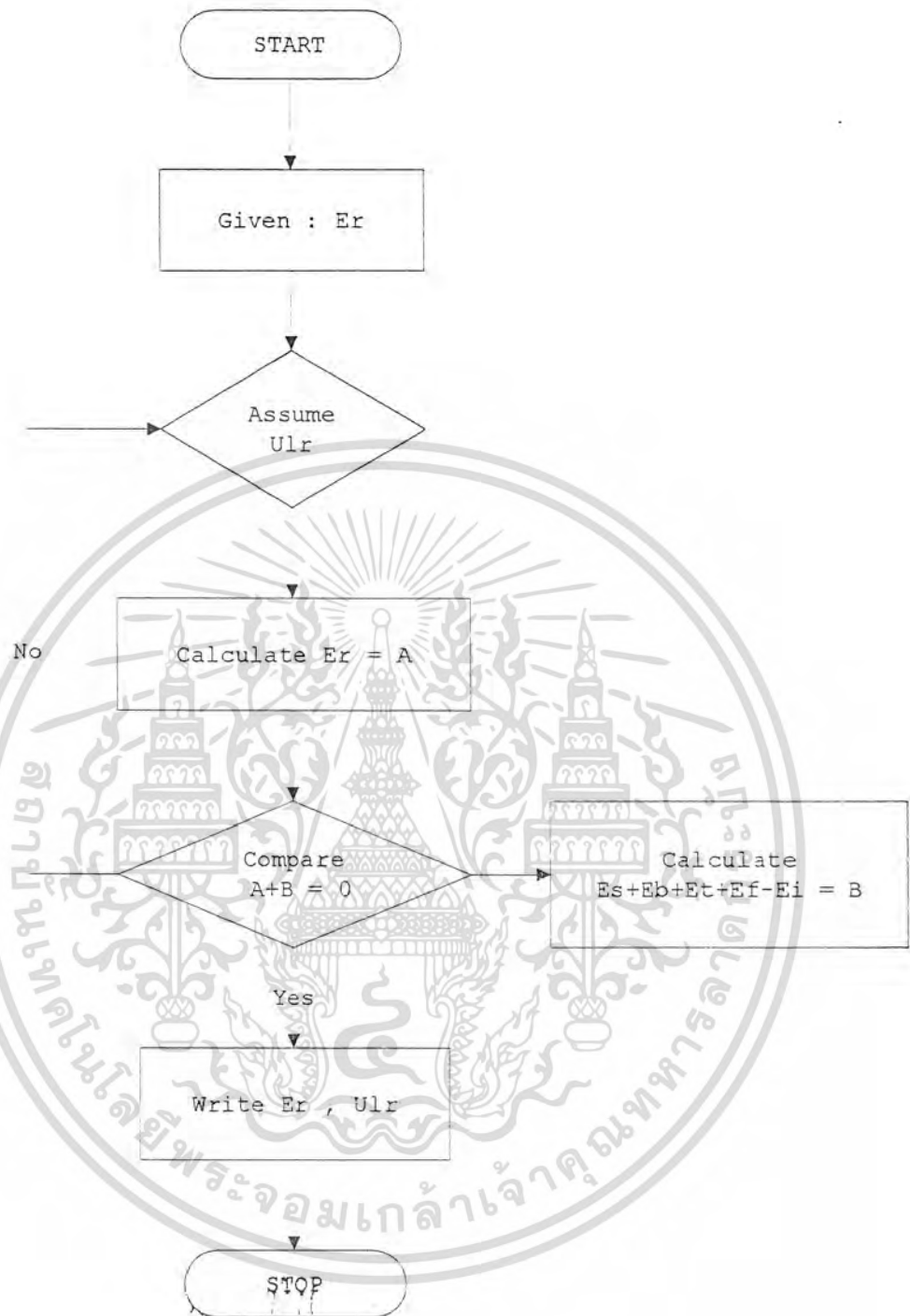
1. ค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) ซึ่งผลจากการทดลองหาค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) กับอัตราการไหลอากาศ (Q_a) และค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) กับระดับความลึกของจุดฟองอากาศ (H) จะได้ว่า เมื่อค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) มีค่ามากเท่าใด ปริมาณอากาศที่สัมผัสน้ำก็จะมากขึ้นตามไปด้วย เมื่อค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) มาก จะทำให้ระยะเวลาที่ฟองอากาศสัมผัสกับน้ำเสียมีระยะเวลาที่สั้นลงด้วยเช่นกัน ซึ่งจะส่งผลทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการจ่ายอากาศไม่คุ้มค่าเท่าที่ควร ดังนั้น ค่าเศษส่วนช่องว่าง (ϵ) เป็นค่าหนึ่งที่มีความสำคัญ

2. ค่าความเร็วของของเหลวในเครื่องเติมฟองอากาศในแนวตั้งก็เป็นอีกค่าหนึ่งที่มีความสำคัญ เพราะ พิจารณาเมื่อปรับค่าอัตราการไหลของอากาศ (Q_a) มากขึ้น หรือเพิ่มความลึกของจุดปล่อยฟอง (H) นั้น ค่าอัตราการไหลของของน้ำ (Q_w) จะมากขึ้น ทำให้ค่าความเร็วของของเหลวมากขึ้นด้วย ทำให้ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างของเหลวและฟองอากาศมีค่ามากขึ้นระยะเวลาที่อากาศสัมผัสกับน้ำสั้นลง จะทำให้อากาศถ่ายเทออกซิเจนได้ประสิทธิภาพลดลงเพราะการถ่ายเทออกซิเจนจากอากาศไปยังน้ำ ระยะเวลาที่อากาศสัมผัสกับน้ำยิ่งมากก็ยิ่งดี

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นนั้นพารามิเตอร์ทั้งสองค่าทางด้านไฮโดรไดนามิก: จึงเป็นพารามิเตอร์หลักที่น่าทำการศึกษา ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านั้น ในเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบ Deep Shaft จริง ซึ่งมีความสูงตั้งแต่ 40 - 150 เมตร จะยุ่งยากต่อการทดลองเสียค่าใช้จ่ายมากและพื้นที่ที่ใช้ในการทดลองมีไม่เพียงพอ ดังนั้นจึงต้องจำลองแบบเครื่องปฏิกรณ์ให้มีขนาดเล็กลงไปกว่านี้ อาจเกิดผลกระทบทางด้านผนังท่อ และผลกระทบทางด้านตัวฟองอากาศ ไปกระทบต่อค่าไฮโดรไดนามิก และทำให้สมการคณิตศาสตร์ไม่สอดคล้องกับผลการทดลองทางด้านไฮโดรไดนามิกด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 แผนภูมิของโปรแกรมหลักแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include <stdlib.h>
#include <math.h>
#include <conio.h>

long double u,vfrac,result;
long double es,eb,ef,et;
long int count;
char ch;

main()
{
    int x,y,i,answer;

    vfrac = 0.002;
    count = 0;
    x = 10; y = 6;
    i = 1;
    answer = 0;
    displaymain();
    while( vfrac <= 0.02 )
    {
        u = 0.001;
        gotoxy(12,22);
        cprintf("Calculating... Vfrac = %5.5f", (float)vfrac);
        while( u <= 0.2 && answer == 0 )
        {
            es = 32.68*pow(u,3);
            eb = 85.3*pow(u,3);
            ef = 27.15*pow(u,2.75)*pow(1-vfrac,-0.75);
            et = -230*u*vfrac;
            result = es+eb+ef+et;

            if( result < 0.0001 && result > -0.0001 )
            {
                answer = 1;
                gotoxy(x,y+i);
                cprintf("%2d. Vfrac = %5.5f U = %5.5f result = %5.5f",i,
                    (float)vfrac, (float)u, (float)result);
            }
            u += 0.000001;
            if(bioskey(1))
            {
                textcolor(WHITE);
                textbackground(BLACK);
                exit(0);
            }
        }
        answer = 0;
        vfrac += 0.002;
        i++;
    }
    gotoxy(12,22);
    cprintf("
    gotoxy(2,25);
    textbackground(BLACK);
}

displaymain()
{
    int i,j;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้วงนที่เอการศีกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 textbackground(LIGHTBLUE);
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

clrscr();
textcolor(WHITE);

gotoxy(1,25);
textbackground(LIGHTGRAY);
for(i=1;i<=80;i++)
{
    cprintf(" ");
}

gotoxy(1,1);
for(i=1;i<=80;i++)
{
    cprintf(" ");
}

textcolor(RED);
gotoxy(30,1);
cprintf(" FLUID VELOCITY MESUREMENT ");
textcolor(BLACK);
gotoxy(33,25);
cprintf("PRESS ESC TO EXIT");

textcolor(WHITE);
textbackground(LIGHTBLUE);

gotoxy(1,2);
cputs("É"); /* Character 201 */
for(i=2;i<=79;i++)
{
    gotoxy(i,2);
    cputs("Í"); /* Character 205 */
}
cputs("»"); /* Character 187 */

for(j=3;j<=24;j++)
{
    gotoxy(1,j);
    cputs("°"); /* Character 186 */
    gotoxy(80,j);
    cputs("°");
}
gotoxy(1,24);
cputs("È"); /* Character 200 */
for(i=2;i<=79;i++)
{
    gotoxy(i,24);
    cputs("Í"); /* Character 205 */
}
gotoxy(80,24);
cputs("¼"); /* Character 188 */
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FLUID VELOCITY MESUREMENT

1.	Vfrac = 0.00200	U = 0.05114	result = -0.0001
2.	Vfrac = 0.00400	U = 0.07345	result = -0.0001
3.	Vfrac = 0.00600	U = 0.09068	result = -0.0001
4.	Vfrac = 0.00800	U = 0.10528	result = -0.0001
5.	Vfrac = 0.01000	U = 0.11817	result = -0.0001
6.	Vfrac = 0.01200	U = 0.12986	result = -0.0001
7.	Vfrac = 0.01400	U = 0.14063	result = -0.0001
8.	Vfrac = 0.01600	U = 0.15066	result = -0.0001
9.	Vfrac = 0.01800	U = 0.16010	result = -0.00009
10.	Vfrac = 0.02000	U = 0.16904	result = -0.00009

PRESS ESC TO EXIT



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. "ชลศาสตร์ (HYDRAULIC)"; กิรติ ลีวัจนกุล; บริษัท ซีเอ็ด ยูเคชั่น จำกัด
2. " การศึกษาการถ่ายเทออกซิเจนในเครื่องปฏิกรณ์ของไหลขยตัวด้วยลม ";
อ. มณฑล ใจกุล
3. เวิร์ทวอเตอร์ เอนจิเนียริง " WASTEWATER ENGINEERING ", THIRD EDITION;
METCALF & EDDY ; MCGRAW - HILL INTERNATIONAL EDITION
4. ฟันดาเมนทอลส์ ออฟ ฟลูอิดแมคคานิค " FUNDAMENTALS OF FLUIDMECHANIC
"; DRUCE R. UNSON , DONALD F. YOUNG , THEODORE H. OKIISHI; JONH WILEY &
SONS,INC.
5. " การวัดและควบคุมทางอุตสาหกรรม "; บุญยงค์ ภู่นันทพงษ์ ; โครงการตำราเรียน
PHYSICS CENTER



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้