

การออกแบบสร้างกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด

ปริญญานิพนธ์
ของ
ศรายุทธ ผุดวัฒน์

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา
กุมภาพันธ์ 2544
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การออกแบบสร้างกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด

บทคัดย่อ

ของ

ศรายุทธ ผุดวัฒน์

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา

กุมภาพันธ์ 2544

ศรายุทธ ผุดวัฒน์. (2543). *การออกแบบสร้างกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบ หัวฉีด*. ปรินญาณิพนธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ :
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
คณะกรรมการควบคุม : ดร.บรรชา รัตนชัย ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร

กรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีดถูกออกแบบโดยนำซูฟี่สันในลอน เบอร์ 6 เป็นวัสดุในการสร้างและประสิทธิภาพของกรวยเติมอากาศ ถูกทดสอบโดยการปรับหัวฉีด 12 ค่า จากหัวฉีดชนิดรูตีบและหัวฉีดชนิดปากผายของความยาวห้องผสม 3 ค่า

เพื่อที่จะเลือกสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเคลื่อนย้ายก๊าซจากอากาศไปสู่ น้ำ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทออกซิเจน ได้กำหนดสภาวะเป็น 4 การทดลอง โดยแต่ละการทดลองแบ่งเป็น 3 ชุด รวม 8 การทดลอง

ท้ายสุดความสามารถจากการใช้ประโยชน์จากเครื่องเติมอากาศได้ถูกทดสอบกับ น้ำเสียในแหล่งน้ำภูมิสถาปัตยกรรม โดยการปรับปรุงความขุ่นและออกซิเจนละลายน้ำ

ผลการทดลองสรุปได้ว่า

1. การสร้างกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีดเป็นผลสำเร็จ ซึ่งได้หัวฉีด ชนิดรูตีบ หัวฉีดร่วมชนิดปากผาย ห้องดูดและครอบห้องดูด ทางเข้าห้องผสม ห้องผสม และเกลียวผสม และดีฟฟิวเซอร์ ตามลำดับ

2. ประสิทธิภาพของกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด

2.1 จากการใช้หัวฉีดชนิดรูตีบไม่ติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสม พบว่า พบว่า ชุด A มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยมีดีฟฟิวเซอร์ของความยาวห้องผสม 400 มิลลิเมตร (A_b) ระยะห่างหัวฉีดขั้วจากทางเข้าห้องผสม 42 มิลลิเมตร ความเร็วการเหนี่ยว นำอากาศ 2 เมตรต่อวินาที คิดเป็นการเหนี่ยวนำอากาศโดยปริมาตร 403.08 ลิตรต่อนาที

2.1.1 ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทออกซิเจนลงไปในน้ำ ($K_L a$) ที่อุณหภูมิการทดสอบ 28.9 องศาเซลเซียส ($K_L a$)_t และอุณหภูมิมาตรฐาน 20 องศาเซลเซียส ($K_L a$)_s เท่ากับ 5.19 และ 4.19 ต่อชั่วโมง

2.1.2 ค่าความสามารถในการเติมออกซิเจน (OC) ที่อุณหภูมิการทดสอบและอุณหภูมิมาตรฐานเท่ากับ 0.24 และ 0.23 กิโลกรัมออกซิเจนต่อชั่วโมง

2.1.3 ค่าการใช้พลังงานของกรวยเติมอากาศที่ใช้จริง (WHP) เท่ากับ 0.94 แรงม้า คิดเป็นวัตต์เท่ากับ 706.2 วัตต์ พลังงานที่ออกมาจากมอเตอร์ (MHP) เท่ากับ 0.67 แรงม้า คิดเป็นวัตต์เท่ากับ 499.82 วัตต์

2.1.4 ค่าประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนตามหน่วยวัตของพลังงานเมื่อเทียบกับการใช้พลังงานจริง $(OTE)_R$ เท่ากับ 0.24 กิโลกรัมออกซิเจนต่อแรงแม่ - ชั่วโมง และเมื่อเทียบกับการใช้พลังงานจากมอเตอร์ $(OTE)_M$ เท่ากับ 0.34 กิโลกรัมออกซิเจนต่อแรงแม่ - ชั่วโมง

2.2 จากการใช้หัวฉีดร่วมชนิดปากผายซึ่งติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสม พบว่า ชุด C มีประสิทธิภาพดีที่สุด โดยมีดีฟิวเซอร์ของความยาวห้องผสม 500 มิลลิเมตร (Cc) ระยะห่างหัวฉีดขั้วร่วมจากทางเข้าห้องผสม 90 มิลลิเมตร ความเร็วการเหนี่ยวนำอากาศ 1.8 เมตรต่อวินาที คิดเป็นการเหนี่ยวนำอากาศโดยปริมาตร 362.77 ลิตรต่อนาที

2.2.1 ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทออกซิเจนลงไปในน้ำ (K_La) ที่อุณหภูมิการทดสอบ 28 องศาเซลเซียส $(K_La)_t$ และอุณหภูมิมาตรฐาน 20 องศาเซลเซียส $(K_La)_s$ เท่ากับ 3.50 และ 2.89 ต่อชั่วโมง

2.2.2 ค่าความสามารถในการเติมออกซิเจน (OC) ที่อุณหภูมิทดสอบ และอุณหภูมิมาตรฐานเท่ากับ 0.14 และ 0.16 กิโลกรัมออกซิเจนต่อชั่วโมง

2.2.3 ค่าการใช้พลังงานของกรวยเติมอากาศที่ใช้จริง (WHP) เท่ากับ 0.90 แรงแม่ คิดเป็นวัตต์เท่ากับ 671.6 วัตต์ พลังงานที่ออกมาจากมอเตอร์ (MHP) เท่ากับ 0.66 แรงแม่ คิดเป็นวัตต์เท่ากับ 492.36 วัตต์

2.2.4 ค่าประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนตามหน่วยวัตของพลังงานเมื่อเทียบกับการใช้พลังงานจริง $(OTE)_R$ เท่ากับ 0.17 กิโลกรัมออกซิเจนต่อแรงแม่ - ชั่วโมง และเมื่อเทียบกับการใช้พลังงานจากมอเตอร์ $(OTE)_M$ เท่ากับ 0.24 กิโลกรัมออกซิเจนต่อแรงแม่ - ชั่วโมง

3. ความสามารถของกรวยเติมอากาศในการใช้งาน จากการทดลองโดยการเติมอากาศลงในน้ำเสียจากแหล่งน้ำในงานภูมิสถาปัตยกรรมจากปริมาตรน้ำ 3 ลูกบาศก์เมตร ในบ่อทดสอบ ใช้เวลาในการเติมอากาศ 30 60 และ 180 นาที ได้ค่าความขุ่นลดลง เป็น 5.45 2.79 และ 3.40 NTU จากก่อนเติมอากาศค่าความขุ่นอยู่ที่ 42 42 และ 38.1 NTU ปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้นหลังการเติมอากาศเป็น 7.8 8.8 และ 9.4 มิลลิกรัมต่อลิตรจากก่อนเติมอากาศ ปรากฏค่าออกซิเจนละลายน้ำอยู่ที่ 0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร เทียบเป็นปริมาณอากาศที่เติมลงไปใต้น้ำที่เวลาต่างกัน จากเวลา 30 60 และ 180 นาที เท่ากับ 10883.10 21766.20 และ 65298.60 ลิตร ตามลำดับ

**THE DESIGN CONSTRUCTION OF A CONE
FOR MECHANICAL JET AERATOR**

**AN ABSTRACT
BY
SARAYUT PUDWATT**

**Presented in partial fulfillment of the requirements
for the Master of Education degree in Industrial Educational
at Srinakharinwirot University
February 2001**

Sarayut Pudwatt. (2000). *The Design Construction of a Cone for Mechanical Jet*

Aerator. Master Thesis, M.Ed. (Industrial Education). Bangkok : Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee : Dr. Bancha Rattanawai. Dr. Pairust Vongyuttakrai.

A Construction of a cone for mechanical jet aerator was designed using superlene nylon 6 as a material. The efficiency of a cone was tested by adjusting nozzles of 12 distance for converging nozzle and converging - diverging nozzle in the mixing chamber of 3 length. Four experimental conditions were tried out, each of 3 sets and 8 adjustments in order to fine the optimum condition for overall transfer coefficient, K_La . Finally, the aerator was tested for its applicability on waste water in a landscape pond in order to improve turbidity and dissolved oxygen.

The results of the experiment were :

1. The construction of a cone for mechanical jet aerator was successful consisting the converging nozzle and converging - diverging nozzle, suction chamber and suction chamber cover, mixing chamber entrance, mixing chamber, mixing spiral, and the diffuser respectively.

2. Mechanical jet aerator cone efficiency :

2.1 In the converging nozzle of uninstal mixing spiral, it was found that set A was highest efficiently. The proper condition included a mixing chamber of 400 millimetre (Ab), diffuser adjusted nozzle distance of 42 millimetre to obtain air induced of 2 m/sec. or induce volume of 403.08 l/min.

2.1.1 The average coefficient (K_La) at tested temperature 28.9 °C (K_La_t) and the standard temperature (K_La_s) was 5.19 and 4.19 per hour.

2.1.2 The oxygenation capacity (OC) at tested temperature and the standard temperature was 0.24 and 0.23 Kg.O₂/hr.

2.1.3 The energy consumed for a cone in real aeration as Wire HP (WHP) was 0.94 horse - power or 706.2 watts and the energy consumed as Motor HP (MHP) was 0.67 horse - power or 499.82 watts.

2.1.4 The oxygen transfer efficiency (OTE) for power usage in real consumed power (OTE_R) was 0.24 kg.O₂/WHP - hr. and the power consumed for motor (OTE_M) was 0.34 kg.O₂/MHP - hr.

2.2 In the converging – diverging nozzle of install mixing spiral, it was found that set C was highest efficiently. The proper condition included a mixing chamber of 500 millimetre (C_c), diffuser adjusted nozzle distance of 90 millimetre to obtain air induced of 1.8 m/sec or air induced volume of 362.77 l/min.

2.2.1 The average coefficient ($K_L a$) at tested temperature $28^\circ C$ ($K_L a)_t$ and standard temperature ($K_L a)_s$ was 3.50 and 2.89 per hour.

2.2.2 The oxygenation capacity (OC) at tested temperature and standard temperature was 0.14 and 0.16 kg.O₂/hr.

2.2.3 The energy consumed for a cone in real aeration as Wire HP (WHP) was 0.90 horse – power or 671.6 watts and the energy consumed as Motor HP (MHP) was 0.66 horse – power or 492.36 watts.

2.2.4 The oxygen transfer efficiency (OTE) for power usage in real consumed power ($OTE)_R$ was 0.17 kg.O₂/WHP – hr. and the power consumed for motor ($OTE)_M$ was 0.24 kg.O₂/MHP – hr.

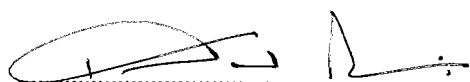
3. The applicability of the cone on waste water in landscape pond :

In the aeration test by the cone in waste water landscape of 3 m³ and fixing timing at 30, 60, 180 minute, it was found that the turbidity decreased to 5.45, 2.79 and 3.40 NTU from before aeration of the turbidity at 42, 42, 38.1 NTU, respectively. The dissolved oxygen was increased after the aeration into 7.8, 8.8 and 9.4 mg/l from 0.8 mg/l, compared to air induced volume in waste water timing 30, 60 and 180 minute was 10883.10, 21766.20 and 65298.60 liter, respectively.

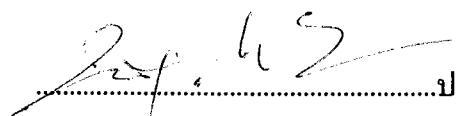
ปริญญานิพนธ์
เรื่อง
การออกแบบสร้างกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด

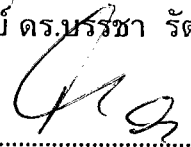
ของ
นายศรายุทธ ผุดวัฒน์

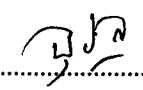
ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

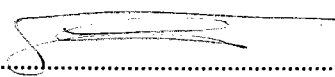
.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)
วันที่ 27 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ 2544

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธาน
(อาจารย์ ดร.นุชชา รัตนวัย)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร)

.....กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(อาจารย์ ดร.อุปวิทย์ สุขคันธกุล)

.....กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(อาจารย์โอภาส สุขหวาน)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยความเมตตากรุณาเป็นอย่างสูงจาก ดร.บรรชา รัตนชัย ประธานกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ และ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร กรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่อง ดูแลให้กำลังใจ และรักษาจินตภาพงานวิจัยของผู้วิจัยตลอดมา อีกทั้งยังประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้เพิ่มเติม ในขณะดำเนินการทำปริญญานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณที่ผ่านมายิ่งนัก พร้อมกับขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงตลอดไป

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.อุปวิทย์ สุวคันธกุล และ ดร.อุทัยวรรณ สุวคันธกุล ที่ได้ให้ประสบการณ์ด้านการสอนหนังสือ โดยทำหน้าที่เป็นผู้ช่วยสอนในภาควิชาพื้นฐาน อดุสาหกรรรม คณะเทคโนโลยีอดุสาหกรรรม สถาบันราชภัฏพระนคร ทำให้มีกำลังใจเพียงพอต่อการทำปริญญานิพนธ์จนแล้วเสร็จ อีกทั้งยังเสริมสร้างศักยภาพในด้านต่าง ๆ ทั้งที่ยังไม่มีและพัฒนาสิ่งที่มีอยู่เพียงเล็กน้อยของผู้วิจัยให้งอกงามอย่างพอเพียงตามห้วงเวลา

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.อุปวิทย์ สุวคันธกุล และอาจารย์โอภาส สุขหวาน ที่กรุณาร่วมเป็นกรรมการสอบให้ข้อเสนอแนะต่าง ๆ ให้กำลังใจและให้แนวคิดในการดำเนินงานและขั้นตอนเพื่อให้งานวิจัยมีความเป็นไปได้และมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์สถาพร วีระสุนทร และครอบครัวที่เอื้อเฟื้อสนับสนุนด้านข้อมูล อุปกรณ์วัดสำหรับงานวิจัย ตลอดจนคำปรึกษาทำให้งานวิจัยสำเร็จด้วยความเรียบร้อยยิ่ง อีกทั้งยังได้รับโอกาสทำหน้าที่เป็นผู้ช่วยสอน ณ ศูนย์ฐานเทคโนโลยี และขอขอบพระคุณ อาจารย์อุไรวรรณ คำภูแสน สำหรับมัลติมีเตอร์ ที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธานี ทับทิมโต ที่ให้แนวคิดในการวัดการเหนี่ยวนำอากาศ และอนุเคราะห์เครื่องมือวัด (โรตัมมิเตอร์) ในเบื้องต้น

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.สนอง ทองปาน ที่ให้คำปรึกษาด้านข้อมูลสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณต่อ คุณบุญฤทธิ์ คงช่วย นักวิชาการสิ่งแวดล้อม 5 ฝ่ายคุณภาพแหล่งน้ำ กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ ที่ได้ให้ความเอื้อเฟื้อเครื่องมือวัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (ดีโอมิเตอร์) และเครื่องมือวัดความขุ่น ทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดียิ่ง

ผู้วิจัยขอระลึกคุณ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่กรุณามอบทุนอุดหนุนการศึกษาจาก “กองทุนพัฒนามหาวิทยาลัย” ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณต่อ คุณศักดิ์ชาย อุทัยณรงค์เดช เจ้าของร้านทวีการช่าง ที่ได้
อำนวยความสะดวกในทุก ๆ ด้านขณะดำเนินการสร้างชิ้นงานและโดยเฉพาะชิ้นงานเหล่านี้
ไม่สามารถจะสำเร็จลงได้ตามจุดมุ่งหมายถ้าปราศจาก คุณลุงสิงห์ คุณอาซา ช่างผู้เชี่ยวชาญ
โดยกลึงชิ้นงานให้ผู้วิจัยในครั้งนี้ ดังนั้นผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณมาไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบคุณ คุณเด่น เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี ที่ช่วยอำนวยความสะดวก
ในด้านต่าง ๆ และพี่สม นักการที่ช่วยเก็บรักษาเครื่องมือทดสอบและอำนวยความสะดวกใน
พื้นที่ขณะดำเนินการทดลองจนแล้วเสร็จ

อนึ่ง ผู้วิจัยได้รับการสนับสนุนและให้กำลังใจเป็นอย่างยิ่งจากคณาจารย์และ
กรรมการบริหารหลักสูตรสาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษาทุกท่าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ
เป็นอย่างสูง

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณนิสิตรุ่นพี่ เพื่อนร่วมรุ่น และรุ่นน้องปริญญาโทสาขา
วิชาอุตสาหกรรมศึกษาทุกท่านที่ได้ให้กำลังใจและบุคคลอื่น ๆ ที่ไม่สามารถกล่าวนามได้
ทั้งหมดที่มีส่วนช่วยเหลือแนะนำ สนับสนุนและให้กำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

ท้ายที่สุดแล้วนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณมารดา บิดา ที่ให้การสนับสนุนการ
ศึกษาแก่ลูก ๆ ทุกคน ครู - อาจารย์อันเป็นที่เคารพรักสูงสุดที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความ
รู้ และทั้งหมดได้ให้กำลังใจสนับสนุนและจุดประกายการศึกษาของผู้วิจัยอย่างต่อเนื่อง ผู้วิจัย
ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ แม้พระคุณนี้นั้นหาที่เปรียบมิได้ก็ตาม

ศรายุทธ ผุดวัฒน์

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง.....	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	4
ข้อตกลงเบื้องต้น.....	4
ความสำคัญของการวิจัย.....	4
ขอบเขตของการวิจัย.....	4
ตัวแปรที่ศึกษา.....	5
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	6
กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	8
สมมติฐานในการวิจัย.....	8
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับน้ำเสีย น้ำทิ้ง และสภาวะน้ำเสีย.....	10
ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับวิธีบำบัดน้ำเสีย.....	19
ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการเติมอากาศ.....	21
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับระบบเติมอากาศให้กับน้ำเสีย.....	27
การหาประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศ.....	40
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	41
แนวคิดในการออกแบบ.....	43
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	52
วัสดุเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบสร้างกรวยสำหรับ เครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด.....	52
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบเครื่องเติมอากาศ.....	52
ตัวอย่างน้ำและน้ำยาเคมี.....	53
สถานที่และระยะเวลาในการวิจัย.....	53
การดำเนินการวิจัย.....	53

บทที่	หน้า
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	63
ผลการออกแบบสร้างส่วนประกอบของกรวยสำหรับเครื่องเดิม	
อากาศแบบหัวฉีด.....	63
ผลการประกอบส่วนของกรวยสำหรับเครื่องเดิมอากาศแบบหัวฉีด..	77
ผลการทดสอบประสิทธิภาพกรวยสำหรับเครื่องเดิมอากาศ	
แบบหัวฉีด.....	80
ผลการทดลองความสามารถในการใช้งานกับน้ำจากแหล่ง	
ภูมิสถาปัตยกรรมด้วยวิธีการไหลแบบไหลวน.....	95
5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	98
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	98
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	98
การดำเนินการวิจัย.....	98
การทดลอง.....	100
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	100
สรุปผลการวิจัย.....	101
อภิปรายผล.....	105
ข้อเสนอแนะ.....	110
บรรณานุกรม.....	113
ภาคผนวก.....	117
ภาคผนวก ก บันทึกผลการทดลองและขั้นตอนการทดสอบกรวย	
เดิมอากาศด้วยวิธีการเดิมอากาศใหม่ในน้ำสะอาดจากการใช้หัวฉีด	
ชนิดรูปตัด ชุด A ไม่ติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสมโดย	
มีดีฟฟิวเซอร์ของความยาวห้องผสม 400 มิลลิเมตร (Ab)	
ระยะห่างหัวฉีดขั้วจากทางเข้าห้องผสม 42 มิลลิเมตร.....	118
ภาคผนวก ข บันทึกผลการทดลองและขั้นตอนการทดสอบกรวยเดิม	
อากาศด้วยวิธีการเดิมอากาศใหม่ในน้ำสะอาด จากการใช้หัวฉีด	
ร่วมชนิดปากผาย ชุด C ติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสม	
โดยมีดีฟฟิวเซอร์ของความยาวห้องผสม 500 มิลลิเมตร (Cc)	
ระยะห่างหัวฉีดขั้วจากทางเข้าห้อง 90 มิลลิเมตร.....	127

บทที่	หน้า
ภาคผนวก ค ตารางแสดงขนาดและน้ำหนักของผลิตภัณฑ์	
ซูฟี่ลีนไนลอน เบอร์ 6.....	136
ภาคผนวก ง บันทึกผลการทดลองความสามารถในการใช้งานกับน้ำ	
จากแหล่งภูมิสถาปัตยกรรมด้วยวิธีการไหลแบบไหลวน.....	138
ภาคผนวก จ ภาพประกอบผลงานวิจัย.....	140
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	145

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 ผลการเหนี่ยวนำอากาศโดยใช้หัวฉีดชนิดรูตีบ.....	81
2 ผลการเหนี่ยวนำอากาศโดยใช้หัวฉีดชนิดปากผายร่วม.....	82
3 ค่าความชื้นและปริมาณออกซิเจนละลายก่อนและหลังการเติมอากาศ.....	97
4 ค่าความเข้มข้นออกซิเจนละลายที่เวลา t ณ จุดความลึก.....	122
5 ค่าความเข้มข้นออกซิเจนละลายที่เวลา t ณ จุดความลึก.....	131
6 ขนาดและน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ซูฟิชั่นไนลอน เบอร์ 6.....	137
7 บันทึกผลการทดลองหาค่าความชื้นและปริมาณออกซิเจนละลาย ก่อนและหลังการเติมอากาศ.....	139

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 กรอบแนวคิดในการวิจัยเพื่อออกแบบสร้างกรวยสำหรับเครื่อง เติมอากาศแบบหัวฉีด.....	8
2 ลักษณะของน้ำเสีย.....	13
3 วิธีการถ่ายเทออกซิเจน.....	25
4 ลักษณะทั่วไปของตัวกระจายอากาศแบบ Fine Bubbles.....	28
5 ลักษณะของตัวกระจายอากาศแบบแผ่น Plate Diffusers.....	29
6 ลักษณะของตัวกระจายอากาศแบบท่อ Tube Diffusers.....	29
7 ลักษณะของตัวกระจายอากาศแบบแผ่นจาน Disc Diffusers.....	30
8 ลักษณะของตัวกระจายอากาศแบบหมวกยอดกลม Dome Diffusers....	31
9 ลักษณะทั่วไปของตัวกระจายอากาศแบบ Medium Bubbles.....	32
10 ลักษณะของตัวกระจายอากาศแบบ Coarse Bubbles.....	33
11 เครื่องกลเติมอากาศที่ผิวหน้าแบบมีท่อดูด.....	34
12 เครื่องกลเติมอากาศที่ผิวหน้าแบบไม่มีท่อดูด.....	35
13 เครื่องเติมอากาศแบบเฟลาตีน้ำในแนวนอน.....	36
14 เครื่องกลเติมอากาศแบบเทอร์ไบน์ได้น้ำ.....	36
15 เครื่องเติมอากาศได้น้ำ.....	37
16 เครื่องกลเติมอากาศแบบหัวฉีด.....	38
17 ระบบเติมออกซิเจนบริสุทธิ์ในถังเติมอากาศ.....	38
18 ลักษณะทางเรขาคณิตของหัวฉีดขับ.....	42
19 การออกแบบหน้างานที่รวมอยู่ในหัวฉีดชนิดรูตีบ.....	45
20 การออกแบบหัวฉีดชนิดรูตีบ.....	46
21 การออกแบบหัวฉีดชนิดปากผาย.....	46
22 การออกแบบมุม Suction Cone ของทางเข้าห้องผสมที่ถูกกำหนด โดยลักษณะภายนอกของหัวฉีดขับ ณ ที่ศูนย์กลางภายในห้องดูด...	48
23 ความดันในห้องผสม.....	49
24 การออกแบบห้องผสม.....	49
25 การออกแบบดีฟฟิวเซอร์.....	50
26 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	54
27 มิติองค์ประกอบชุดกรวยเติมอากาศ.....	56

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
28 แสดงตำแหน่งเครื่องมือวัดบนกรวยเดิมอากาศ.....	58
29 กรวยเดิมอากาศแบบแยกชิ้นประกอบ.....	64
30 รูปแบบจากผลการออกแบบเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกของหัวฉีด ชนิดรูตีบ.....	66
31 รูปแบบของหัวฉีดชนิดปากผายที่ทางไหลขยายบานกว้างออก.....	67
32 ตำแหน่งการแบ่งห้องดูดเพื่อการเจาะรู.....	68
33 ลักษณะหน้าสัมผัสที่ฐานของหน้าแปลนเพื่อป้องกันการรั่วไหล.....	69
34 รูปแบบความสัมพันธ์เชิงเรขาคณิตของทางเข้าห้องผสมกับหัวฉีด ชนิดรูตีบ.....	70
35 รูปแบบจากผลการออกแบบทางเข้าห้องผสม.....	72
36 แบบครอบเหล็กหล่อสำหรับการเจาะรูบนหน้าจาน.....	73
37 รูปแบบจากผลการออกแบบห้องผสมทั้งสองส่วนและตำแหน่งของ รูเจาะบนหน้าจานห้องผสม.....	74
38 รูปแบบจากผลการออกแบบดีฟฟิวเซอร์.....	76
39 รูปแบบจากผลการออกแบบเกลียวผสมสำหรับการติดตั้งไว้ใน ห้องผสม.....	77
40 ตำแหน่งปลอกสวมมานอมิเตอร์บนครองห้องดูด ห้องผสมและ ดีฟฟิวเซอร์.....	78
41 มิติบ่อทดสอบแบบไหลวนและทิศทางการไหลของน้ำ.....	79
42 ภาพตัดการติดตั้งตัวเครื่องและอุปกรณ์วัดกับโครงสร้างบ่อทดสอบ.....	80
43 แสดงความสัมพันธ์ความเร็วของการเหนี่ยวนำอากาศรวมต่อการ ปรับระยะห่างหัวฉีดชนิดรูตีบ.....	86
44 แสดงความสัมพันธ์ความเร็วการเหนี่ยวนำอากาศรวมต่อการปรับ ระยะห่างหัวฉีดรวมชนิดปากผาย.....	89
45 บ่อทดสอบกับการกำหนดจุดวัดความเข้มข้นออกซิเจนละลายน้ำ 4 จุด จาก 3 ระดับความลึก.....	91
46 ไดอะแกรมสำหรับตรวจสอบการไหล.....	96

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

ตั้งแต่อดีตเรื่อยมา ชุมชนเมือง การเกษตรกรรม และอุตสาหกรรม นิยมตั้งอยู่ใกล้แหล่งน้ำ หรือแม่น้ำหลักที่ไหลผ่าน เพื่อได้มีการใช้ประโยชน์จากแม่น้ำลำคลอง ทั้งเพื่อการพัฒนาและเป็นที่รองรับน้ำเสีย จนเป็นสาเหตุให้แหล่งน้ำเกิดสภาวะที่เกินธรรมชาติ ส่งผลต่อแหล่งน้ำที่อยู่บริเวณใกล้เคียง ทำให้คุณภาพของน้ำทางด้านกายภาพ เคมี และทางชีวภาพเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งสอดคล้องกับคำกล่าวของ สุรินทร์ เศรษฐมานิต (2534 : 2) ว่า ไม่มีแหล่งน้ำสาธารณะแห่งใดของประเทศที่ไม่ประสบกับมลภาวะทางน้ำ (water pollution) ในลักษณะและปริมาณที่แตกต่างกัน ดังที่ วิทยา เพียรวิจิตร (2525 : 2) ได้สรุปความเสียหายที่เกิดจากน้ำเสียจำแนกได้เป็น น้ำเสียเป็นอันตรายต่ออนามัย น้ำเสียทำลายความสะอาดน่าดูของแหล่งน้ำ และน้ำเสียทำลายประโยชน์ในด้านเศรษฐกิจที่จะได้รับจากแหล่งน้ำ

ความสะอาดน่าดูของแหล่งน้ำด้านภูมิสถาปัตยกรรมในความหมายด้านสิ่งแวดล้อม หมายถึง การจัดวางพื้นดิน แหล่งน้ำ และสิ่งมีชีวิต รวมทั้งการทำให้เกิดความเชื่อมโยงของบริเวณพื้นที่โล่ง จากขนาดเล็กไปจนถึงพื้นที่ขนาดสวนสาธารณะ และสภาพภูมิประเทศเปิดโล่งนอกเมือง รวมถึงการจัดวางแหล่งอุตสาหกรรมและการฟื้นฟูพื้นที่ที่มีการละทิ้งที่เสื่อมโทรมเพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ในด้านนันทนาการ ในด้านความงามจากทัศนียภาพตามธรรมชาติเหล่านี้ เมื่อแหล่งน้ำในงานภูมิสถาปัตยกรรมได้รับผลกระทบจากปัจจัยดังกล่าว ธรรมชาติและระบบนิเวศของแหล่งน้ำเสียสมดุลไม่สามารถจะจัดการกับของเสียโดยลำพังแล้วก็จะส่งผลกระทบต่อชุมชนและทำลายทัศนียภาพไปในที่สุด

วิธีการลดปัญหามลภาวะทางน้ำคือ การปรับสภาพน้ำเสียให้อยู่ในเกณฑ์ที่แหล่งน้ำจะสามารถรองรับได้โดยการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกต่าง ๆ ในน้ำทิ้งให้มีปริมาณอยู่ในระดับที่จะสามารถระบายลงสู่แหล่งน้ำได้โดยไม่ทำให้คุณภาพของน้ำเสื่อมลงไ้มากกว่านี้ (Eckenfelder. 1966 : 128) ดังนั้นวิธีการบำบัดน้ำเสียจึงแตกต่างกันไปตามชนิดขององค์ประกอบที่มีอยู่ในน้ำเสียนั้น ซึ่งวิธีการกำจัดสิ่งสกปรกที่ละลายน้ำจัดแบ่งออกเป็น 4 วิธีการคือ กระบวนการบำบัดด้วยวิธีการทางกายภาพ กระบวนการบำบัดด้วยวิธีการทางเคมี กระบวนการบำบัดด้วยวิธีการทางเคมีกายภาพ และกระบวนการบำบัดด้วยวิธีการทางชีววิทยา

แสงอาทิตย์ ลม อุณหภูมิ สิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ขนาดเล็กที่ปะปนอยู่ในน้ำและอินทรีย์สารอื่น ๆ เป็นปัจจัยต่อสถานการณ์ความแปรผันในสระน้ำ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (dissolved oxygen) และการใช้ออกซิเจนเป็นไปอย่างเสียสมดุลย์ อีกทั้งแสงไม่

สามารถส่งผ่านไปยังระดับกันสระได้ตลอดช่วงของเวลากลางวัน เมื่อเป็นเช่นนี้ระดับน้ำที่ผิวจะมีปริมาณออกซิเจนละลายที่มาก และระดับน้ำในส่วนล่างออกซิเจนจะถูกใช้สิ้นไปอย่างรวดเร็วและไม่สามารถจัดหาแทนที่ได้เพียงพอเพียงแต่สถานการณ์ตรงกันข้ามคือ ช่วงเวลาเย็นเมื่ออุณหภูมิลดลงและความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ระดับน้ำที่ผิวบนจะจมตัวลงไปแทนที่ระดับน้ำในส่วนล่างทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนของชั้นน้ำจากตอนล่างขึ้นมาสู่ระดับบนได้ เพื่อชดเชยความขาดแคลนออกซิเจนในเวลากลางวัน แต่ก็ยังคงไม่ได้ช่วยให้ความเสียสมดุลย์ของออกซิเจนละลายในสระน้ำเพิ่มมากขึ้นนัก จากสถานการณ์ดังกล่าว โคเฮน ได้กล่าวว่า สถานการณ์การขาดแคลนปริมาณออกซิเจนละลายของน้ำในส่วนล่างที่ถูกใช้ไป และลดน้อยลงในตอนกลางคืนนั้นสามารถแก้ไขได้ โดยใช้การเติมอากาศเข้าช่วย ซึ่งเป็นเครื่องช่วยเสริมในการปรับปรุงความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำ และปรับปรุงการหมุนเวียนของน้ำ (Cohen. 1988 : 17 - 19)

ลักษณะการเติมอากาศที่ใช้กับงานบำบัดน้ำเสียแบ่งออกได้เป็น 5 แบบคือ แบบอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก (gravity type) หรืออุปกรณ์ประเภทน้ำตก แบบฉีดพ่นไปในอากาศ (spary) แบบเป่าอากาศเข้าไปในน้ำ (diffuser) โดยอาศัยหลักการให้อากาศที่เกิดจากเครื่องเป่าอากาศ (air blower) ทำการพ่นผ่านตัวกระจายอากาศ แบบใช้เครื่องกล (mechanical) ท้ายสุดเป็นแบบใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์ (high - purity oxygen) เป็นระบบเติมออกซิเจนโดยตรงที่มีออกซิเจนบริสุทธิ์แทนการใช้อากาศ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2537 : 142) สำหรับงานบำบัดน้ำเสียนั้นจะใช้แบบเป่าอากาศเข้าไปในน้ำและแบบเครื่องกล ซึ่งพอจะทำการแยกให้ละเอียดได้ดังนี้คือ ชนิดระบบเติมอากาศที่ผิวหน้า (surface aerators) ชนิดระบบเทอร์ไบน์ (turbine aerators) (เสริมพล รัตนสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุกุล. 2518 : 179) ชนิดเครื่องเติมอากาศใต้น้ำ (submersible aerators) ชนิดเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด (jet aerators) (สุรพล สายพานิช. 2538 : 183)

สำหรับเครื่องเติมอากาศระบบเครื่องกลชนิดที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า เครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีดน้ำ (jet aerator) ใช้หลักการทำงานของ เวนตูรี อีเจกเตอร์ (venturi ejector) อาศัยเครื่องสูบน้ำแบบใต้น้ำ (submersible pump) ฉีดน้ำผ่านท่อที่ลดขนาดลง (venturi tube) เพื่อเพิ่มความเร็วของน้ำจนกระทั่งเกิดแรงดูดอากาศจากผิวน้ำลงมาผสมกับน้ำก็จะส่งผลต่อการถ่ายเทออกซิเจนลงไปในน้ำ ในขณะที่เป็นเครื่องกลที่เหมาะสมสำหรับใช้เติมอากาศให้กับแหล่งน้ำในงานภูมิสถาปัตยกรรม วิธีนี้สามารถเพิ่มอากาศลงในน้ำลึก ๆ ได้ดี แต่อากาศจะลอยขึ้นมายังผิวน้ำได้รวดเร็ว ดังนั้นถ้าสามารถกำหนดฟองอากาศที่ออกมาจากหัวเติมอากาศของเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีดให้มีขนาดฟองอากาศที่เล็กก็จะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างอากาศกับน้ำ ซึ่งจะเป็นผลให้มีการถ่ายเทออกซิเจนเพิ่มขึ้น

เครื่องเติมอากาศที่ทำการออกแบบสร้างเป็นเครื่องมือที่ของไหลขับ (driving fluid) สอดคล้องกับองค์ประกอบของของไหลอยู่บนพื้นฐานของของเหลว - ก๊าซ โดยการถ่ายเทพลังงานจากลำน้ำที่มีความเร็วสูงไปสู่ลำอากาศที่มีความเร็วต่ำ โดยวิธีการของหัวฉีด (nozzle) ลำน้ำขับซึ่งมีความเร็วสูงจะเหนี่ยวนำอากาศให้เคลื่อนตัวลงมาผสมกับลำน้ำในห้องผสมโดยวิธีการผสมแบบเทอบูเลนต์ (turbulent) และเมื่อพิจารณาความได้เปรียบของเครื่องเติมอากาศ เช่น ความไม่ซับซ้อนในการสร้าง ตลอดจนการใช้งานและความง่ายในการบำรุงรักษา เนื่องจากการไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่เหล่านี้เป็นข้อได้เปรียบเหนือเครื่องเติมอากาศในระบบเดียวกัน ในขณะที่การออกแบบนั้นแตกต่างกับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีดที่มีอยู่ทั่วไปตรงที่มีการออกแบบเพิ่มหัวฉีดชนิดปากผายเข้าไปทำหน้าที่ขับของไหลร่วมกับหัวฉีดชนิดรูปติ่งที่มีอยู่เดิม ที่ห้องดูดมีการเพิ่มตัวครอบห้องดูดชั้นนอกเพื่อทำหน้าที่ให้อากาศที่ได้รับจากการเหนี่ยวนำจากลำน้ำกระจายเติม เข้าไปยังทั่วบริเวณที่ว่างรูปวงแหวนระหว่างลำน้ำขับและผิวของห้องผสม โดยการเจาะรูรอบด้านของผนังห้องดูดชั้นใน

การผสมจึงเกิดขึ้นในห้องผสม ลำน้ำก็จะไหลต่อไปข้างหน้าด้วยความเร็วเดียวกัน โดยผ่านตัวเกลียวผสมที่ตอนปลายของห้องผสมซึ่งได้ทำการออกแบบไว้ ทำให้อากาศที่เกิดขึ้นในห้องผสมครั้งแรกถูกเงื่อนไขลงและเกิดการผสมกันอีกครั้งหนึ่ง ความเร็วของของไหลที่ผ่านตัวเกลียวผสมจะลดลงจนสามารถละเอียดได้ จะผ่านไปยังดีฟิวเซอร์ซึ่งทำให้หัวความดันสูงขึ้นและจะเปลี่ยนพลังงานจลน์ให้เป็นความดัน

จากเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยได้ตระหนักถึงความสำคัญในการป้องกันการเน่าเสียของแหล่งน้ำในงานภูมิสถาปัตย์ จึงเป็นเหตุจูงใจให้ผู้วิจัยออกแบบสร้างกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีดในส่วนของท่อที่ลดขนาดลงและให้ชื่อใหม่ว่า กรวยเติมอากาศ (conical aeration) เพิ่มเติมประสิทธิภาพการผสมระหว่างลำน้ำและอากาศ และเพิ่มผิวสัมผัสระหว่างฟองอากาศกับน้ำด้วยวิธีการเติมอากาศให้ทั่วปริมาณน้ำทั้งหมด ขณะที่ให้มีการไหลของน้ำแบบไหลวน การควบคุมน้ำทั้งหมดไหลผ่านกรวยเติมอากาศปริมาณน้ำทั้งหมดก็就会被เติมอากาศอย่างทั่วถึง เพื่อนำไปใช้กับบ่อน้ำในงานภูมิสถาปัตย์และช่วยทำให้น้ำภายในบ่อเกิดการหมุนเวียนโดยอาศัยแรงดันจากลำน้ำทำให้ออกซิเจนเพียงพอต่อการบำบัดทางชีววิทยา และในส่วนการนำเสนอเพื่องานวิจัยนั้นจะดำเนินการทดลองภายในห้องปฏิบัติการอาคารวิทยาศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์ (บางเขน) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยมีความคาดหวังว่าผลของการศึกษาที่ได้รับจะเป็นแนวทางในการปรับปรุงเครื่องเติมอากาศที่มีอยู่ในแบบเดียวกันนี้ให้มีประสิทธิภาพการเติมอากาศที่สูงขึ้น ทั้งยังสามารถนำไปใช้เติมอากาศเพื่อป้องกันการเน่าเสียของแหล่งน้ำในสถานบริเวณภูมิสถาปัตย์ที่มีบ่อน้ำสำหรับบ้านพักอาศัยและหน่วยงานต่าง ๆ เพื่อการจัดสิ่งแวดล้อมให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในโอกาสต่อไป

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบสร้างกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด
2. เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด
3. เพื่อทดสอบหาความสามารถของเครื่องเติมอากาศในการใช้งานด้วยวิธี

เติมอากาศให้ปริมาณน้ำเสียจากแหล่งน้ำในงานภูมิสถาปัตยกรรม

ข้อดกลงเบื้องต้น

น้ำที่จะเติมอากาศจะต้องไหลวน จึงสามารถเติมอากาศให้กับน้ำได้ทั่วปริมาณน้ำ ดังนั้นในบ่อทดสอบจะต้องมีลักษณะภายในบ่อกันให้เป็นช่องน้ำไหลครบวงจรมีแผ่นกั้นปิด ทำเป็นประตูน้ำเพื่อติดตั้งกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด เพื่อให้น้ำไหลผ่านกรวยเติมอากาศจากด้านหนึ่งไปสู่อีกด้านหนึ่ง โดยใช้เครื่องสูบน้ำเป็นตัวขับเคลื่อนของไหล

ความสำคัญของการวิจัย

1. ได้กรวยเติมอากาศสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด
2. เพื่อเป็นแนวทางในการป้องกันและปรับปรุงคุณภาพของน้ำในด้านความขุ่น และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ อันจะส่งผลต่อการจัดสภาพแวดล้อมภายในบริเวณพื้นที่ของงานภูมิสถาปัตย์ให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อไป

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาออกแบบสร้างกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด โดยนำเครื่องเติมอากาศไปศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องตามมาตรฐานการทดสอบเครื่องเติมอากาศ จากนั้นนำเครื่องเติมอากาศไปหาความสามารถของเครื่องในการใช้งาน โดยวิธีเติมอากาศให้ทั่วเนื้อของปริมาณน้ำด้วยการไหลแบบไหลวน และทำการทดลองภายในห้องปฏิบัติการ ได้กำหนดขอบเขตในการวิจัยดังนี้

1. การวิจัยในครั้งนี้ เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (experimental research) โดยใช้สถานที่ของอาคารวิทยาศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์ (บางเขน) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เป็นสถานที่ทำการทดสอบเครื่องเติมอากาศในสภาวะมาตรฐาน (standard condition) และความสามารถในการใช้งาน
2. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศและความสามารถในการใช้งาน
 - 2.1 ถังเก็บน้ำหรือบ่อเก็บกักน้ำที่ใช้ทดสอบ กว้าง 3.54 เมตร ยาว 4.07 เมตร ระดับน้ำในถังทดสอบลึก 0.55 เมตร
 - 2.2 เครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีดประกอบด้วย

2.2.1 ส่วนของเครื่องสูบล (submersible pump) เป็นเครื่องมือที่ใช้ขับของไหลขนาดท่อทางออก 40 มิลลิเมตร กำลังที่ 700 วัตต์ แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ 1 เฟส 50 เฮิร์ต หัวแรงดันวัดเป็นแท่งความสูงของน้ำมีหน่วยเป็นเมตรที่ 15 เมตรของน้ำ

2.2.2 ส่วนของหัวฉีดขับ (driving nozzle) ได้แก่ หัวฉีดชนิดรูตีบ และหัวฉีดชนิดปากผาย

2.2.3 ส่วนของห้องดูด (suction chamber) และครอบห้องดูด

2.2.4 ส่วนของทางเข้าห้องผสม (mixing chamber entrance) หรือหัวฉีดดูด (Suction Nozzle)

2.2.5 ส่วนของห้องผสม (mixing chamber) ของเกลียวผสม

2.2.6 ส่วนของดีฟิวเซอร์ (diffuser)

2.3 ดี โอ มิเตอร์ (DO meter) เพื่อใช้วัดค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ

3. การทดลอง

3.1 ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศ

เมื่อทำการออกแบบสร้างกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแล้วประกอบขึ้นเป็นเครื่องเติมอากาศ ทำการทดสอบเดินเครื่อง ตรวจสอบการทำงานของเครื่องให้เป็นไปตามหน้าที่ที่ได้ออกแบบไว้ จากนั้นนำเครื่องเติมอากาศสู่ขั้นตอนการหาประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศ ซึ่งมี 15 ขั้นตอน

3.2 ศึกษาความสามารถของเครื่องเติมอากาศในการใช้งานโดยวิธีเติมอากาศให้หัวเนื้อของปริมาณน้ำ โดยใช้ น้ำจากแหล่งน้ำในงานภูมิสถาปัตย์

ตัวแปรที่จะศึกษา

1. ตัวแปรต้น ส่วนประกอบของกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด ได้แก่ หัวฉีดชนิดรูตีบ และชนิดปากผาย ที่ระยะห่างของทางเข้าห้องผสม 12 ค่า ของความยาวห้องผสม 3 ค่าสำหรับติดตั้งตัวเกลียวผสม

2. ตัวแปรตาม ได้แก่

2.1 ค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทออกซิเจนลงไปน้ำ ($K_L a$) ของเครื่องเติมอากาศแบบกรวยเติมอากาศในน้ำสะอาด

2.2 ความสามารถในการใช้งานของเครื่องเติมอากาศในน้ำจากแหล่งน้ำของงานภูมิสถาปัตย์ ซึ่งวัดจาก

2.2.1 อัตราการผสมของอากาศลงในน้ำโดยปริมาตร

2.2.2 คุณภาพน้ำทางกายภาพและทางเคมี ได้แก่ ค่าความขุ่นและค่าออกซิเจนละลายน้ำ

นิยามศัพท์เฉพาะ

เครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด

หมายถึง เครื่องมือกลที่ใช้เป็นเครื่องมือช่วยเพิ่มออกซิเจนในน้ำของแหล่งน้ำในงานภูมิสถาปัตยกรรม โดยใช้กับวิธีการบำบัดด้วยกระบวนการทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนซึ่งมีส่วนประกอบของเครื่องดังต่อไปนี้

1. หัวฉีดขับ

หมายถึง อุปกรณ์เพื่อบังคับให้มวลของของไหลพุ่งออกไปในทิศทางที่ประสงค์ โดยการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดของทางไหล ซึ่งจะทำให้ความดันตรงที่ทางออกของหัวฉีดต่ำลง ซึ่งรวมถึงหัวฉีดชนิดรูตีบและหัวฉีดชนิดปากผาย

2. หัวฉีดชนิดปากผาย

หมายถึง ลักษณะปากทางเข้าของหัวฉีดกว้าง แล้วจะเรียวตีบลงก่อนต่อจากนั้นจะค่อย ๆ ขยายออก เมื่อนำมาใช้ร่วมกับหัวฉีดชนิดรูตีบจะสามารถเร่งอัตราเร็วในการไหล

3. ห้องดูด

หมายถึง ภาวะการเกิดแรงดูดด้วยวิธีการของหัวฉีดที่ซึ่งต่อเนื่องมาจากทางเข้าห้องผสมอากาศซึ่งได้รับการดูดในทิศทางของการไหลของลำน้ำ การดูดอากาศเกิดขึ้นในห้องดูด

4. ครอบห้องดูด

หมายถึง ส่วนที่ทำหน้าที่กระจายอากาศเข้าไปทั่วเส้นรอบวงของห้องดูด เพื่อให้อากาศเต็มเข้าไปยังบริเวณที่ว่างรูปวงแหวนระหว่างลำน้ำขับและผิวของห้องผสม

5. ทางเข้าห้องผสม

หมายถึง ส่วนที่มีภาวะการเกิดแรงดูดด้วยวิธีการของหัวฉีด การเร่งของลำน้ำผ่านหัวฉีดก่อให้เกิดลำของเจ็ต ซึ่งมีความดันต่ำและความเร็วสูง ซึ่งจะทำให้เกิดแรงดูดขึ้นที่ขอบเขตของน้ำ ขณะที่ลำน้ำและอากาศไหลผ่านไปยังปลายทาง มีผลทำให้เกิดการผสมผสานกันระหว่างลำน้ำและอากาศในห้องผสม

6. ตัวเกลียวผสม

หมายถึง อุปกรณ์ที่ทำการติดตั้งอยู่ที่ปลายของห้องผสม เพื่อบังคับให้ฟองอากาศมีโอกาสได้สัมผัสกับน้ำในระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยจะเป็นตัวช่วยให้ฟองอากาศแตกกระจายมีขนาดเล็กลงเพื่อช่วยเพิ่มอัตราการละลายน้ำของออกซิเจน

7. ดิฟฟิวเซอร์

หมายถึง ทางผ่านของลำน้ำและอากาศที่ได้รับการผสมในห้องผสม ซึ่งบานออกทีละเล็กละน้อย สำหรับปรับเปลี่ยนความเร็วกลับไปเป็น ความดัน

แหล่งน้ำในงานภูมิสถาปัตยกรรม

หมายถึง ผลจากการปรับปรุงพื้นที่ดิน เพื่อการจัดสถานที่พักผ่อนสำหรับอาศัย
นอกบ้าน (outdoor living) เพื่อให้เกิดบรรยากาศแห่งความพึงพอใจและสอดคล้องต่อความ
ต้องการของการดำรงชีวิต

สภาวะมาตรฐาน

หมายถึง อุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส และความดันประมาณ 1 บรรยากาศ
ประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด

หมายถึง ผลของการทดสอบเครื่องเติมอากาศตามมาตรฐานการทดสอบ ซึ่งจะ
ทำให้เกิดค่าที่ตามมาดังต่อไปนี้

1. ค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทออกซิเจนลงในน้ำ ($K_L a$)

หมายถึง เป็นค่าที่รวมตัวแปรต่าง ๆ เช่น ความปั่นป่วนของน้ำ อุณหภูมิ
ความกดดันของบรรยากาศ ลักษณะของน้ำ ความลึกของเครื่องเติมอากาศ ขนาดของ
ฟองอากาศ และถือว่าเป็นค่าคงที่หากไม่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติของเครื่องเติมอากาศ

2. ความสามารถในการเติมออกซิเจน

หมายถึง ปริมาณของออกซิเจนที่เครื่องเติมอากาศแบบกรวยเติมอากาศ
สามารถถ่ายเทลงไปในน้ำต่อหนึ่งหน่วยเวลา ใช้หน่วยเป็นกิโลกรัมออกซิเจนต่อชั่วโมง

3. การใช้พลังงาน

หมายถึง ค่าพลังงานที่ใช้จริงทั้งหมดในการเติมอากาศ โดยวัดการใช้ไฟฟ้า
เข้ามอเตอร์ตามความเป็นจริงต่อหน่วยกำลังงาน

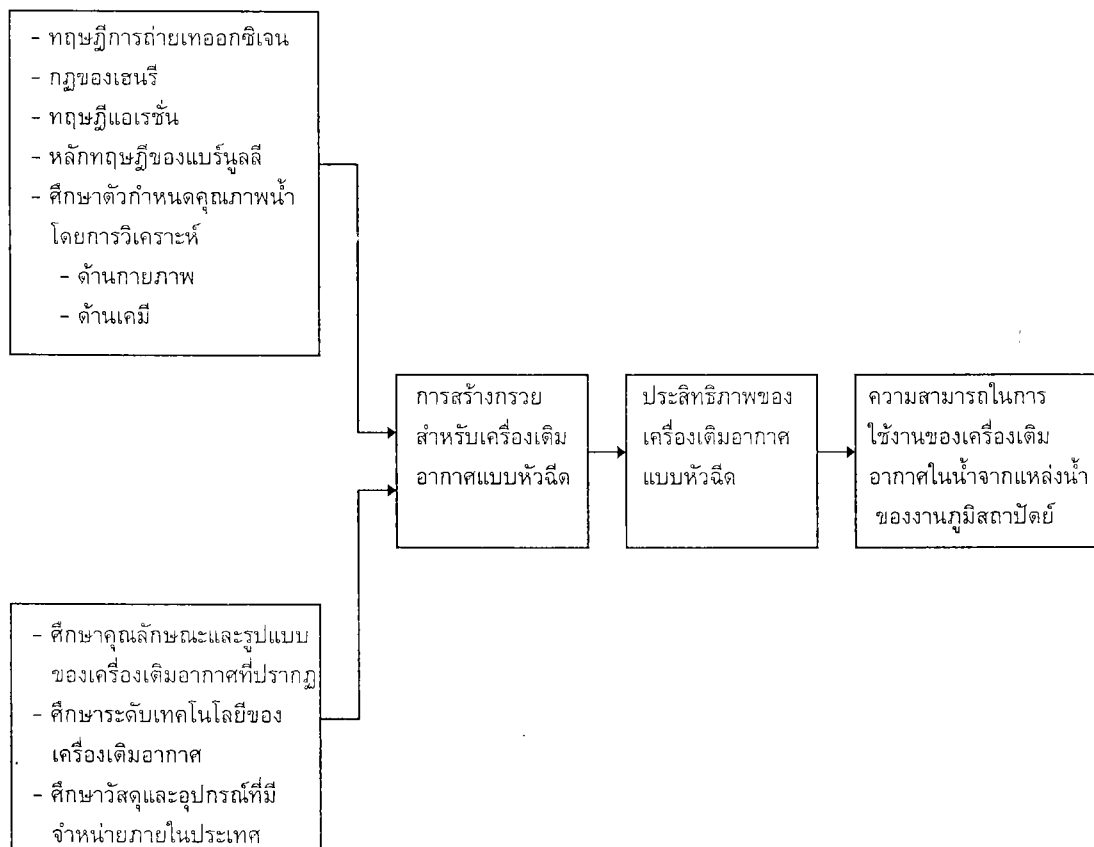
4. ประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจน

หมายถึง ค่าประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนจริง ตามการวัดการใช้
พลังงาน เพื่อนำข้อมูลไปใช้งาน มีหน่วยเป็นน้ำหนักของออกซิเจนต่อหน่วย กำลังงานที่ใช้
ภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง

อัตราการผลิตของอากาศลงในน้ำโดยปริมาตร

หมายถึง การเติมอากาศโดยใช้น้ำจากแหล่งน้ำในงานภูมิสถาปัตยกรรม ทดลอง
ในห้องปฏิบัติการ โดยใช้เวลาที่ต่างกันในการเติมอากาศกับปริมาณน้ำที่คงที่

กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวความคิดในการวิจัยเพื่อออกแบบสร้างกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด

สมมติฐานในการวิจัย

กรวยเติมอากาศที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำในแหล่งน้ำภูมิสถาปัตย์กรรพได้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลต่าง ๆ จากเอกสาร ตำรา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยครั้งนี้ ให้บรรลุไปตามความมุ่งหมายที่ได้วางไว้โดยจะนำเสนอตามลำดับดังนี้

1. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับน้ำเสีย น้ำทิ้ง และสภาวะน้ำเสีย
 - 1.1 สารมลพิษในน้ำเสีย
 - 1.2 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่สำคัญในการตรวจวิเคราะห์
2. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับวิธีการบำบัดน้ำเสีย
 - 2.1 กระบวนการบำบัดด้วยวิธีการทางกายภาพ
 - 2.2 กระบวนการบำบัดด้วยวิธีทางเคมี
 - 2.3 กระบวนการบำบัดด้วยวิธีการทางเคมีกายภาพ
 - 2.4 กระบวนการบำบัดด้วยวิธีการทางชีววิทยา
3. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการเติมอากาศ
 - 3.1 ทฤษฎีการถ่ายเทออกซิเจน
 - 3.2 กฎของเฮนรี
 - 3.3 ทฤษฎีเอเรชัน
 - 3.4 สมการแบร์นูลลี
4. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับระบบเติมอากาศให้กับน้ำเสีย
 - 4.1 ระบบเติมอากาศแบบตัวกระจายอากาศ (Diffusers aeration)
 - 4.2 ระบบเครื่องบีกอล (Mechanical aeration)
 - 4.3 ระบบใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์ (High - purity oxygen)
 - 4.4 ความรู้พื้นฐานของหลักการเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด (Jet aerator)
 - 4.5 วัสดุที่นำมาใช้เป็นส่วนประกอบในการออกแบบสร้างกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด
5. การหาประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศ
6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
 - 6.1 หัวฉีดขับ (Driving Nozzle)
 - 6.2 ทางเข้าห้องผสม (Maxing Chamber Entrance)
 - 6.3 ห้องผสม (Mixing Chamber)
 - 6.4 ระยะหัวฉีดขับ (Driving Nozzle Distance)

6.5 ดิฟฟิวเซอร์ (Diffuser)

7. แนวคิดในการออกแบบ

1. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับน้ำเสีย น้ำทิ้ง และสภาวะน้ำเสีย

น้ำเสีย (Waste Water) หมายถึง น้ำที่ผ่านการใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ มาแล้ว เช่น การชำระล้างร่างกาย เสื้อผ้า การประกอบอาหาร การขับถ่ายของเสีย การล้างวัตถุดิบในระดับครัวเรือน และโรงงานอุตสาหกรรมทั้งขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่ การล้างเครื่องจักร การหล่อเย็นเครื่องจักร เหล่านี้ทำให้คุณลักษณะของน้ำเปลี่ยนไปจากเดิม เนื่องจากมีสิ่งสกปรกต่าง ๆ ทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ถ่ายเทลงมาเจือปนอยู่ในน้ำ ปริมาณสิ่งสกปรกในน้ำจึงขึ้นอยู่กับการใช้ประโยชน์ของน้ำ (เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2518 : 1) ซึ่งสอดคล้องกับ อุดร จารุรัตน์ (2537 : 8) ที่ได้ให้คำจำกัดความของน้ำเสีย ได้แก่ น้ำที่ถูกใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์แล้วระบายทิ้งลงมา มีสิ่งปะปนซึ่งอาจเป็นสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ หรือสารมลพิษต่าง ๆ ทำให้น้ำนั้นไม่เหมาะสมสำหรับใช้อีกต่อไป หรือถ้าปล่อยทิ้งลงสู่ลำน้ำธรรมชาติก็จะทำให้คุณภาพของน้ำธรรมชาติเสียหายได้

ดังนั้นน้ำเสียประกอบไปด้วยสารมลพิษประเภทใดประเภทหนึ่งหรือหลายประเภท ดังต่อไปนี้ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2538 : 13)

1. สารอินทรีย์ ซึ่งวัดในรูปของบีโอดีและซีโอดี
2. สารอนินทรีย์ เช่น สารประกอบของแคลเซียมและแมกนีเซียม สารประกอบคลอไรด์
3. โลหะหนักและสารพิษอื่น ๆ เช่น ปรอท ตะกั่ว ยาฆ่าแมลง
4. น้ำมันและไขมัน รวมทั้งสารละลายน้ำประเภทอื่น ๆ
5. ความร้อน ในกรณีที่อุณหภูมิสูงจะมีผลทำให้ระดับออกซิเจนสูงสุดที่มีอยู่ในน้ำลดลง
6. ปริมาณของแข็ง ได้แก่ สิ่งสกปรกต่าง ๆ ที่อยู่ในรูปของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ และอยู่ในรูปของตะกอนแขวนลอย
7. สีและความขุ่นทำให้แหล่งน้ำมีสีไม่น่าดูและสกปรก
8. กรดและด่างจะมีอิทธิพลทำให้พีเอชของแหล่งน้ำเปลี่ยนไป
9. สารก่อให้เกิดฟอง มีอยู่ในสารซักล้างทั่ว ๆ ไป
10. จุลชีพมีอยู่มากในน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชน ส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรีย
11. สารประกอบของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสซึ่งเป็นปุ๋ยของพืชน้ำ

น้ำทิ้ง หมายถึง น้ำซึ่งระบายลงสู่คลองหรือรางหรือท่อระบายสาธารณะ เป็นน้ำซึ่งผ่านการใช้งานและถูกบำบัดมาก่อนหรือไม่ก็ตาม ดังนั้นน้ำทิ้งอาจมีสภาพหรือลักษณะ

เช่นเดียวกับน้ำเสียก็ได้ ขึ้นอยู่กับได้รับการบำบัดมาก่อนหรือไม่ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2530 : 13 - 14)

เบญจา พวงสุวรรณ (2525 : 4) ได้ให้คำจำกัดความน้ำทิ้งตรงกับคำว่า Effluent ไว้ดังนี้

1. ของเหลวชนิดหนึ่งซึ่งไหลออกจากภาชนะบรรจุ
2. น้ำเสียหรือของเหลวชนิดหนึ่ง ซึ่งผ่านการบำบัดเป็นบางส่วนหรืออย่างสมบูรณ์ หรืออยู่ในสภาพสถานะทางธรรมชาติอย่างเดิมและถูกปล่อยออกมาจากอ่างเก็บน้ำถึง ระบบบำบัดน้ำเสีย หรือจากส่วนใดส่วนหนึ่งของอาคารดังกล่าว

มลพิษของน้ำ คือการที่น้ำอยู่ในสภาพที่สิ่งมีชีวิตสามารถอาศัยอยู่ได้ตลอดจนครบวงจรชีวิต โดยมีสภาวะการดำรงชีวิตผิดไปจากธรรมชาติ เนื่องจากมีสิ่งแปลกปลอมถูกเติมลงไป เราอาจจำแนกประเภทของมลพิษของน้ำตามแหล่งที่มาของสารมลพิษ (Pollutants) ได้ 4 ประเภทด้วยกันคือ

1. มลพิษของน้ำที่เกิดจากน้ำโสโครกของแหล่งชุมชน (Domestic Waste Water)
 2. มลพิษของน้ำที่เกิดจากน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial Waste Water)
 3. มลพิษของน้ำที่เกิดจากการเกษตรกรรม (Agriculture Waste Water)
- (เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต. 2536 : 119)

4. แหล่งธรรมชาติที่ก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำ (สมใจ กาญจนวงศ์. 2532 : 31)

สภาวะน้ำเสีย คือการที่น้ำมีคุณภาพเลวลงจนขัดต่อการใช้ประโยชน์อย่างอื่น โดยที่น้ำไม่จำเป็นต้องเน่าเหม็นเสมอไป

เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์ (2518 : 280) ได้จำแนกประเภทของน้ำเสียออกเป็น 2 ชนิดคือ

1. น้ำเสียเนื่องจากมีออกซิเจนน้อยเกินไป ออกซิเจนเป็นดัชนีคุณภาพของน้ำที่สำคัญที่สุด เพราะออกซิเจนมีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ และช่วยป้องกันไม่ให้น้ำเน่าเหม็นเนื่องจากปฏิกิริยาชีวเคมีแบบไม่ใช้ออกซิเจน ถ้าน้ำมีสารอินทรีย์ละลายน้ำปนอยู่ในน้ำ แบคทีเรียก็จะใช้ออกซิเจนในน้ำในการเผาผลาญสารอินทรีย์ ทำให้ออกซิเจนลดน้อยลง ถ้าออกซิเจนหมดไปปฏิกิริยาชีวเคมีแบบไม่ใช้ออกซิเจนก็จะเกิดขึ้นทำให้น้ำเน่าเหม็นและมีสีดำ

2. น้ำเสียเนื่องจากมีสารเคมีละลายปนอยู่ การที่ความเข้มข้นของออกซิเจนในน้ำมีค่าสูง มิได้หมายความว่าน้ำนั้นจะสะอาดเสมอไป สิ่งสกปรกบางชนิดจะไม่ทำให้ออกซิเจนลดลง แต่อาจจะทำให้น้ำเป็นพิษหรือทำให้น้ำเน่าไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ประโยชน์ สิ่งสกปรกเหล่านี้โดยมากมาจากน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและของเสียจากเกษตรกรรม

1.1 สารมลพิษในน้ำเสีย

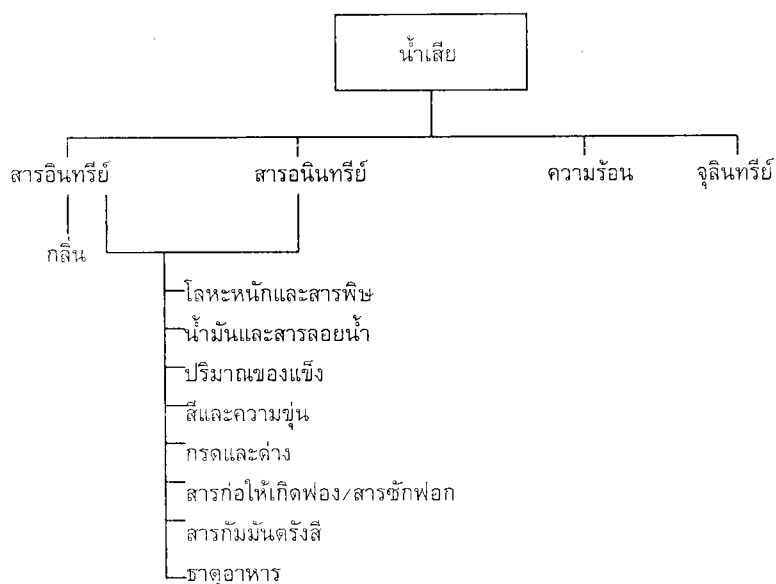
1.1.1 สารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เช่น เศษข้าว ก๋วยเตี๋ยว น้ำแกง เศษใบตอง พืชผัก ชี้นเนื้อ ซึ่งสามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน ทำให้ระดับออกซิเจนละลายในน้ำหรือดีโอ (Dissolved Oxygen : DO) ลดลง เกิดสภาพเน่าเหม็นได้ ปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำนิยมวัดด้วยค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand : BOD) เมื่อค่าบีโอดีในน้ำสูง แสดงว่ามีสารอินทรีย์ปะปนอยู่มาก และสภาพเน่าเหม็นจะเกิดขึ้นได้ง่าย

1.1.2 สารอนินทรีย์ ได้แก่ แร่ธาตุต่าง ๆ ที่อาจไม่ทำให้เกิดน้ำเน่าเหม็น แต่อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ทำให้เกิดสภาพน้ำแปรป่วนหรือเป็นอุปสรรคในกระบวนการผลิตน้ำประปา ได้แก่ คลอไรด์ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟต ฯลฯ

1.1.3 โลหะหนักและสารพิษอื่น ๆ อาจอยู่ในรูปของสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์และสามารถสะสมอยู่ในวงจรอาหาร เกิดเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่นปรอท โครเมียม ทองแดง ปกติจะอยู่ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดศัตรูพืชที่ปนมากับน้ำทิ้งจากการเกษตร สำหรับในเขตชุมชนสารพิษนี้อาจมาจากอุตสาหกรรมในครัวเรือนบางประเภท เช่น ร้านชุบโลหะ อู่ซ่อมรถ และน้ำเสียจากโรงพยาบาล ฯลฯ

1.1.4 น้ำมันและสารลอยน้ำต่าง ๆ เป็นอุปสรรคต่อการสังเคราะห์แสง และกีดขวางการกระจายของออกซิเจนจากอากาศลงสู่ น้ำ นอกจากนั้นยังทำให้เกิดสภาพไม่น่าดูและอาจเกิดอันตรายจากอัคคีภัยได้ด้วย

1.1.5 ความร้อนทำให้เกิดแบ่งชั้น (Stratification) ของลำน้ำแรงปฏิบัติการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ และลดระดับการละลายของออกซิเจนในน้ำ อาจทำให้เกิดสภาพเน่าเหม็นขึ้นได้ อุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสมควรอยู่ประมาณ 25 - 35 องศาเซลเซียส (ปราณี พันธุมสินชัย. 2537 : 3) ดังภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 ลักษณะของน้ำเสีย

1.1.6 ปริมาณของแข็ง (Solids) หมายถึง ปริมาณของสารต่าง ๆ ที่มีอยู่ในน้ำเสียทั้งในลักษณะที่ไม่ละลายน้ำและที่ละลายน้ำ (Dissolved Solids) ของแข็งที่ไม่ละลายน้ำมีอาทิ เศษอาหาร อูจจาระ ปฏิกุลต่าง ๆ รวมทั้งจุลินทรีย์ ของแข็งบางชนิดมีน้ำหนักเบา และแขวนลอยอยู่ในน้ำ (Suspended Solids) บางชนิดหนักและจมตัวลงเบื้องล่าง (Settleable Solids) ของแข็งที่ไม่ละลายน้ำนี้อาจสร้างปัญหาในการอุดตันเครื่องเติมอากาศ และถ้าปล่อยทิ้งในปริมาณมากจะทำให้เกิดความสกปรก และตื่นขึ้นในลำน้ำธรรมชาติ ตลอดจนบดบังแสงแดดที่ส่องลงสู่ท้องน้ำ

1.1.7 สีและความขุ่น มักเกิดจากอุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอ กระดาษ ฟอกหนัง และโรงฆ่าสัตว์ สีและความขุ่นจะขัดขวางกระบวนการสังเคราะห์แสงในลำน้ำ

1.1.8 กรดและด่าง (pH) เป็นค่าที่บอกถึงความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำเสีย เลขดัชนีนี้มีค่าระหว่าง 0 - 14 (ไม่มีหน่วย) หากค่าพีเอชต่ำกว่า 7 น้ำจะมีสภาพเป็นกรด ถ้าสูงกว่า 7 มีสภาพเป็นด่าง โดยทั่วไปสิ่งมีชีวิตในน้ำหรือจุลินทรีย์ในถังบำบัดจะดำรงชีพได้ดีในสภาพเป็นกลางคือ พี เอช ประมาณ 6 - 8 ค่า พี เอช ที่สูงเกินไปหรือต่ำเกินไปจะทำให้ระบบนิเวศน้ำเสียหาย สัตว์และพืชไม่สามารถอาศัยอยู่ได้ นอกจากนี้ยังทำให้มีฤทธิ์กัดกร่อนท่อหรืออุปกรณ์ของเครื่องเติมอากาศ

1.1.9 สารก่อให้เกิดฟอง/สารชักฟอง ได้แก่ ผงซักฟอก สบู่ ฟองจะกีดกันการกระจายของออกซิเจนในอากาศสู่ น้ำ และอาจเป็นอันตรายต่อปลา

1.1.10 จุลินทรีย์ (Microorganism) น้ำเสียจากโรงฟอกหนัง โรงฆ่าสัตว์ หรือโรงงานอาหารกระป๋องจะมีจุลินทรีย์เป็นจำนวนมาก จุลินทรีย์เหล่านี้ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีพ ทำให้สามารถลดระดับของดีไอในน้ำในระยะเวลาสั้นได้ ทำให้เกิดสภาพเน่าเหม็น จุลินทรีย์บางชนิดอาจเป็นเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อประชาชน เช่น จุลินทรีย์ในน้ำเสียจากโรงพยาบาล

1.1.11 สารกัมมันตรังสีอาจมาจากโรงพยาบาล หรือองค์การของรัฐ บางประเภทเป็นสารอันตรายเมื่อสะสมอยู่ในสิ่งมีชีวิต ก่อให้เกิดมะเร็งได้

1.1.12 ธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เมื่อมีปริมาณสูงจะทำให้เกิดการเจริญเติบโตเกินขีดของสาหร่าย (Algae Bloom) ซึ่งจะลดระดับออกซิเจนในน้ำในช่วงกลางคืน และทำให้เกิดวัชพืชน้ำ ซึ่งเป็นปัญหาแก่การสัญจรทางน้ำและการนำน้ำไปใช้

1.1.13 กลิ่น เกิดจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์แบบไร้อากาศ หรือกลิ่นอื่น ๆ จากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น โรงทำปลาป่น โรงฆ่าสัตว์ เป็นต้น

1.2 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่สำคัญในการตรวจวิเคราะห์

1.2.1 ของแข็ง ของแข็งประกอบด้วยสารอินทรีย์และอนินทรีย์มากมายหลายชนิด จึงวิเคราะห์โดยการชั่งน้ำหนัก เพราะคุณสมบัติของสารที่เป็นของแข็งแต่ละตัวแตกต่างกัน การวิเคราะห์ของแข็งในน้ำเสียมีการทำเพื่อหาค่าดังนี้คือ

ของแข็งที่จมตัวสู่เบื้องล่าง หมายถึง ของแข็งจมตัวสู่ก้นภาชนะ เมื่อตั้งทิ้งไว้ในที่สงบภายในเวลา 1 ชั่วโมง การวิเคราะห์ควรให้น้ำตัวอย่างมีอุณหภูมิเท่าอุณหภูมิห้องและหลีกเลี่ยงที่มีแสงแดด ปริมาณของแข็ง ถูกตรวจวัดและรายงานในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l) การวิเคราะห์หาค่าของแข็งจมตัวมีประโยชน์ในการพิจารณาความต้องการใช้ และออกแบบการตกตะกอนและใช้วิเคราะห์ในระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อตรวจวัดประสิทธิภาพของถังตกตะกอน

ของแข็งที่แขวนลอย หมายถึง ส่วนที่ไม่ละลายน้ำ แต่มีขนาดเล็กพอที่จะแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ หาได้โดยการกรองตัวอย่างน้ำด้วยกระดาษกรองใยแก้วมาตรฐาน (รูพรุนขนาด $0.45 \mu m$) หลังจากกรองตัวอย่างและนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ $103-105^{\circ} C$ ซึ่งหาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นบนกระดาษกรอง การวิเคราะห์หาของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหยในน้ำตัวอย่างที่ได้กำจัดของแข็งจมตัวออกจากน้ำเสียในถังตกตะกอนแล้ว เพื่อหาปริมาณสารอินทรีย์ที่จะเข้าระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาและใช้ในการควบคุมระบบบำบัดด้วย

ของแข็งที่ละลาย หมายถึง สารที่สามารถผ่านกระดาษกรองใยแก้วมาตรฐาน แล้วยังคงเหลืออยู่หลังจากระเหยไอน้ำจนแห้งแล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ $105^{\circ} C$

หรือ 180°C การวิเคราะห์ที่ 105°C จะได้ค่าสูงกว่าการวิเคราะห์ที่ 180°C เพราะการอบแห้งที่ 105°C โลหะไฮดรอกไซด์บางชนิดยังคงมีน้ำละลายอยู่ ทำให้ได้ค่าสูงกว่า ส่วนการอบแห้งที่ 180°C สารอินทรีย์จะลดลง โดยระเหยเป็นไอแต่ยังไม่ถูกทำลาย คลอไรด์ และเกลือไนเตรทจะสูญหายไป โบคาร์บอนเนตจะถูกเปลี่ยนกลับเป็นคาร์บอนเนต ซึ่งบางส่วนอาจสลายเป็นรูปของออกไซด์ หรือเกลือโดยทั่วไป ทั้งที่มีส่วนประกอบของ สารอินทรีย์เป็นหลัก หรือมี pH สูงกว่า 9 ควรจะอบแห้งที่อุณหภูมิ 180°C การรายงาน ควรบ่งบอกถึงอุณหภูมิที่อบแห้งในการวิเคราะห์

1.2.2 อุณหภูมิ อุณหภูมิของน้ำทิ้งที่ปล่อยลงสู่ลำน้ำสาธารณะมีผลต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยที่สิ่งมีชีวิตในน้ำอาจถึงตายได้ในกรณีที่อุณหภูมิของน้ำทิ้งสูงเกินไปและยังมีผลให้การละลายของออกซิเจนในน้ำลดลงอีกด้วย ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ยอมให้อุณหภูมิของน้ำที่ปล่อยลงสู่ลำน้ำสาธารณะได้ต้องไม่เกิน 40°C องศาเซลเซียส

1.2.3 ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen : DO) สารละลายออกซิเจนเป็นดัชนีคุณภาพน้ำที่สำคัญที่สุดต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ เพราะต้องถูกนำไปใช้ในกระบวนการต่าง ๆ เพื่อก่อให้เกิดพลังงาน ขบวนการต่าง ๆ ที่ต้องการออกซิเจนเรียกกระบวนการบำบัดแบบใช้ออกซิเจน (กรมอนามัย, 2537 : 137)

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีลักษณะดังต่อไปนี้

1.2.3.1 เป็นปฏิภาคตรงกับความดันของบรรยากาศ ถ้าความดันสูง ออกซิเจนละลายน้ำได้มาก แต่เนื่องจากค่าการละลายน้ำของออกซิเจนที่ความดันบรรยากาศมีค่าต่ำ ทำให้มีแรงขับ (Driving Force) ต่ำไปด้วย ดังนั้นการเพิ่มอัตราการละลายน้ำของออกซิเจนที่ความดันบรรยากาศ ซึ่งได้แก่ การเพิ่มผิวสัมผัสระหว่างอากาศกับน้ำให้มีค่ามากที่สุด

1.2.3.2 เป็นปฏิภาคกลับกับอุณหภูมิของน้ำ ถ้าอุณหภูมิของน้ำสูง ปริมาณออกซิเจนจะละลายน้ำได้น้อย กล่าวคืออัตราของการออกซิเดชันทางชีวจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และความต้องการออกซิเจนจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำมีน้อยลง จะเห็นได้ชัดในฤดูร้อน ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำน้อยลงเพราะว่าอุณหภูมิสูง ทำให้เกิดการเน่าเหม็นของน้ำในแหล่งน้ำเนื่องจากออกซิเจนไม่พอสำหรับทำให้เกิดกระบวนการบำบัดแบบใช้ออกซิเจน

1.2.3.3 เป็นปฏิภาคกลับกับความเข้มข้นของเกลือแร่ในน้ำ

ถ้าความเข้มข้นของเกลือแร่สูง ออกซิเจนจะละลายได้น้อย กล่าวคือการละลายของออกซิเจนในน้ำที่มีเกลือแร่จะน้อยกว่าในน้ำสะอาด และในทำนองเดียวกันในน้ำเสียค่าอิ่มตัวของออกซิเจนที่ละลายจะน้อยกว่าในน้ำสะอาด

ความสำคัญของดีไอ

1. ดีไอในน้ำเสียเป็นตัวชี้ว่าปฏิกิริยาทางชีวะที่เกิดขึ้น จะเกิดโดยจุลินทรีย์พวกที่ใช้ ออกซิเจนหรือไม่ใช้ออกซิเจน โดยพวกใช้ออกซิเจนจะใช้ออกซิเจนอิสระเพื่อออกซิไดส์สาร อินทรีย์และสารอนินทรีย์ เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีอันตราย ในขณะที่จุลินทรีย์พวกที่ไม่ใช้ออกซิเจนทำให้เกิดออกซิเดชั่น โดยการรีดิวซ์เกลืออนินทรีย์บางตัว เช่น SO_4^{2-} เกิด ผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นเหม็น จุลินทรีย์ทั้งสองชนิดพบทั่วไปในธรรมชาติ จึงจำเป็นที่จะต้องรักษา สภาวะพวกที่ใช้ออกซิเจนขอบไว้ มิฉะนั้นจุลินทรีย์พวกที่ไม่ใช้ออกซิเจนจะเข้ามาแทนที่

2. ค่าดีไอ มีความสำคัญในการที่จะรักษาสภาวะของน้ำให้เหมาะสมกับการเจริญ เติบโตของปลาและสัตว์น้ำอื่น คือมี DO ในปริมาณพอเหมาะ เช่น ไม่น้อยกว่า 4 มิลลิกรัม ต่อลิตร

3. ค่า DO เป็นพื้นฐานของค่า บี ไอ ดี เพื่อหาค่าความสกปรกของน้ำเสีย และอัตราของการออกซิเดชั่นทางชีววิทยา ซึ่งวัดได้โดยการหาค่า DO ที่เหลือ ณ เวลา ต่าง ๆ

การเก็บตัวอย่างสำหรับหาค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

ต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษเนื่องจากส่วนใหญ่แล้วระดับ DO ในตัวอย่างที่ จะเก็บมักจะต่ำกว่าค่าอิมตัว การปล่อยให้ตัวอย่างนั้นสัมผัสกับอากาศจะทำให้เกิดการ ผิดพลาดของผลที่จะหาได้ ด้วยเหตุนี้ขวดที่ใช้เก็บตัวอย่างที่จะหา DO จะต้องยึดหลักที่จะ ไม่ให้ตัวอย่างที่เก็บมาถูกอากาศ

การเก็บรักษาตัวอย่างน้ำที่จะนำมาหาค่า DO ในกรณีที่ทำหาค่าทันทีที่ไม่ได้ ควรทำการหยุดสภาพของตัวอย่างทันทีที่เก็บ เพื่อป้องกันการเปลี่ยนของค่า DO เนื่องจาก ปฏิกิริยาทางชีววิทยา ซึ่งทำได้โดยเติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) และ สารละลายอัลคาไลด์ไฮโดรไซด์ ($\text{NaOH} + \text{NaI} + \text{NaN}_3$) ชนิดละ 1 มิลลิลิตร ตามลำดับ ปิดจุกเขย่ากลับไปกลับมาประมาณ 15 ครั้ง จะเกิดตะกอนสีน้ำตาล ดังทิ้งไว้ ให้ตกตะกอน ตัวอย่างที่ทำการหยุดสภาพแล้วควรเก็บไว้ในที่มืดและอุณหภูมิต่ำ (4 องศา เซลเซียส) จะลดการเปลี่ยนแปลงซึ่งอาจจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาก่อนทำการตรวจวิเคราะห์ได้ อย่างมาก

หลักการทั่วไป

การหาค่าออกซิเจนละลาย คือการหาปริมาณออกซิเจนซึ่งละลายอยู่ในน้ำ เป็น ลักษณะสำคัญที่จะบอกให้ทราบว่าน้ำนั้นมีความเหมาะสมเพียงใดต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมี ชีวิตในน้ำและแนวการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในน้ำว่าเป็นแบบใช้ออกซิเจนอิสระ หรือไม่ใช้ ออกซิเจนอิสระ

การหาค่าออกซิเจนละลายสามารถทำการวิเคราะห์ได้หลายวิธี เช่น วัดโดยใช้ เครื่องที่เรียกว่า ดีไอมิเตอร์ หรือออกซิเจนมิเตอร์ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สามารถวัดปริมาณ

ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l) ได้โดยตรง หรือจะใช้วิธีทางเคมี เช่น วิธีเอไซด์โมดิฟิเคชันของไอโอโดเมตริก (Azide Modification of Iodometric Method) ซึ่งเหมาะสำหรับใช้วิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนในน้ำที่สกปรก เช่น น้ำทิ้ง น้ำในแม่น้ำลำคลอง เป็นต้น

1.2.4 บี โอ ดี (Biochemical Oxygen Demand : BOD) หมายถึง ความต้องการออกซิเจนของน้ำทิ้งที่หาได้โดยใช้ขบวนการทางชีววิทยา โดยใช้แบคทีเรียย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง ปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียต้องใช้คือ ค่าบี โอ ดี ปฏิกริยาชีวเคมีระหว่างออกซิเจนกับสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ กว่าสารอินทรีย์จะถูกทำลายหมด จะใช้เวลาหลายสัปดาห์ตามมาตรฐานสากลจึงวัดค่าบีโอดีทั้งหมดในเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิของน้ำในฤดูร้อนของประเทศหนาว บีโอดีในระยะ 5 วัน จะมีค่าร้อยละ 70 - 80 ของปริมาณ บี โอ ดี ทั้งหมดที่ต้องการ (Ultimate BOD) (เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2518 : 18) โดยภายในเวลา 5 วัน จะไม่มีค่า บี โอ ดี ที่เกิดจากการย่อยสลายของสารประกอบอินทรีย์ของไนโตรเจน ดังนั้นค่า บี โอ ดี ที่เวลา 5 วัน จึงไม่ได้แสดงถึงปริมาณออกซิเจนที่ต้องการทั้งหมดในการย่อยสลายสารอินทรีย์ แต่เป็นตัวชี้ถึงปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในเวลา 5 วัน (อรทัย ขวาลภาฤทธิ์. 2538 : 63 - 70)

การวิเคราะห์ค่า บีโอดี เป็นการวิเคราะห์เพื่อที่จะทราบถึงปริมาณความสกปรกของน้ำในแม่น้ำลำคลอง น้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อประโยชน์ในการออกแบบระบบบำบัดควบคุมคุณภาพน้ำทิ้งและประสิทธิภาพของระบบนั้น ๆ โดยคิดเปรียบเทียบในรูปของปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียต้องการใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์

การวิเคราะห์หาค่า บีโอดี โดยทั่วไปเป็นการวัดปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้หมดไปในเวลา 5 วัน ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 20°C เนื่องจากออกซิเจนในอากาศสามารถละลายน้ำได้ในจำนวนจำกัด คือประมาณ 9 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร ในน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 20°C ดังนั้นในน้ำเสียซึ่งมีความสกปรกมากจำเป็นจะต้องทำให้ปริมาณความสกปรกเจือจางลงอยู่ในระดับซึ่งสมดุลพอดีกับปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ การวิเคราะห์นี้เกี่ยวข้องกับแบคทีเรียในน้ำ จึงจำเป็นต้องทำให้มีสภาพที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย กล่าวคือไม่มีสารพิษ แต่มีอาหารเสริมสำหรับแบคทีเรีย เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส เป็นต้น เพียงพอ นอกจากนี้การย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำกระทำโดยแบคทีเรียหลายชนิด จึงจำเป็นจะต้องมีปริมาณแบคทีเรียชนิดต่าง ๆ เหล่านี้เพียงพออยู่ในน้ำตัวอย่าง ซึ่งทำการวิเคราะห์ ถ้าไม่มีหรือมีปริมาณน้อยไปควรเติมแบคทีเรีย ซึ่งเรียกว่าหิวเชื้อ (Seed) ลงไป (กรมอนามัย. 2537 : 144)

ความสำคัญของ บีโอดี

1. เป็นค่าที่บอกให้ทราบถึงปริมาณของออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายของสารอินทรีย์ที่มีในน้ำ เพื่อหาค่าลงความสกปรกของน้ำเสียต่าง ๆ
2. นำไปใช้ในการควบคุมมลพิษทางน้ำของแม่น้ำ ลำธาร โดยทำการสำรวจแม่น้ำ (River Survey) เพื่อดูว่าแม่น้ำสามารถรับความสกปรกได้อีกเท่าไร และควบคุมน้ำที่ทิ้งลงในแม่น้ำเพื่อจะได้มีระดับออกซิเจนในน้ำเหลืออยู่ตามต้องการ
3. ใช้วัดประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย
4. ใช้ตรวจคุณภาพของน้ำทิ้ง
5. ใช้ในการออกแบบบำบัดน้ำเสีย

1.2.5 ไนโตรเจน (Nitrogen) สารประกอบไนโตรเจนที่เกี่ยวข้องกับน้ำเสียแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

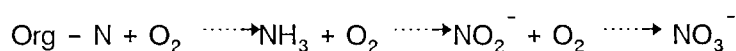
1.2.5.1 สารประกอบไนโตรเจนอินทรีย์ เช่น โปรตีน กรดอะมิโน กรดนิวคลีอิก ซึ่งเป็นส่วนประกอบของพืช สัตว์ และของเสียที่ขับถ่ายออกมา

1.2.5.2 สารประกอบไนโตรเจนอนินทรีย์ เช่น แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ซึ่งอาจอยู่ในรูปของปุ๋ย หรือเกลือของยูเรีย

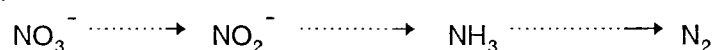
สารประกอบไนโตรเจนรูปต่าง ๆ มีความสัมพันธ์กันโดยสามารถเปลี่ยนรูปจากสารอินทรีย์เป็นรูปสารอนินทรีย์ โดยกระบวนการทางชีวและสารอนินทรีย์ในรูปต่าง ๆ ก็อาจเปลี่ยนกลับไปมาโดยแบคทีเรียได้เช่นกัน ซึ่งกระบวนการสำคัญคือ การเปลี่ยนสารอินทรีย์ในรูปที่ไม่ละลาย ให้เป็นรูปที่ละลายและแบคทีเรียสามารถนำไปใช้ได้

กระบวนการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนอาจแบ่งออกเป็น

1. ออกซิเดชัน (Oxidation) กระบวนการออกซิเดชันของสารประกอบไนโตรเจนจะเกิดในระบบที่มีออกซิเจนอย่างเหลือเฟือ โดยไนโตรเจนอินทรีย์จะถูกเปลี่ยนเป็น NH_3 และ NH_3 จะเกิดออกซิเดชันเป็น ไนไตรท์ และไนเตรท เรียกว่า กระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification)



2. รีดักชัน (Reduction) กระบวนการนี้จะเกิดในระบบที่มีออกซิเจนลดลงหรือขาดออกซิเจน แบคทีเรียจะนำออกซิเจนในสารประกอบไนเตรทมาใช้เกิดปฏิกิริยาตรงข้ามกันกับปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เรียกว่า ดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification)



ผลสุดท้ายที่ได้คือ ก๊าซไนโตรเจน ซึ่งเป็นปัญหาในระบบบำบัดน้ำเสีย เพราะจะทำให้ Sludge ลอยตัวขึ้น

ความสำคัญของไนโตรเจน

1. เป็นตัวบ่งชี้ถึงความสะอาดของน้ำ โดยในการตรวจวัดคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติ ถ้าพบสารประกอบไนโตรเจนในรูป Org - N และ NH_3 - N มาก แสดงว่าน้ำนั้นมีความสกปรกและเพิ่งได้รับการปนเปื้อนมา

2. ในระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวะ ปริมาณของไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) Org - N และ NH_3 - N จะต้องมีความเพียงพอสำหรับแบคทีเรีย เพื่อให้การเจริญเติบโตได้อัตราส่วน $\text{BOD} : \text{N} = 100 : 5$ การวิเคราะห์หาไนโตรเจนทั้งหมด จึงมีความสำคัญมากในการควบคุมระบบบำบัด

การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เป็นการเปลี่ยนไนโตรเจนที่อยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ให้อยู่ในรูปของเกลือแอมโมเนีย โดยการต้มตัวอย่างน้ำกับกรดเข้มข้น แล้วตรวจวัดปริมาณแอมโมเนียทั้งหมด โดยการนำตัวอย่างที่ต้มกับกรดและทำให้เป็นต่างแล้วไปกลั่นโดยวิธีเนสเลอร์ไรเซชัน (Nesslerization) หรืออาจใช้วิธีดีเทรทด้วยกรดมาตรฐานและคำนวณหาไนโตรเจนทั้งหมด มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

1.2.6 ฟอสฟอรัส (Phosphorus) ฟอสฟอรัสมีอยู่ในรูปของฟอสเฟต โพลีฟอสเฟตและฟอสเฟตอินทรีย์ ซึ่งฟอสเฟตอินทรีย์นี้สามารถเปลี่ยนกลับมาเป็นฟอสเฟตโดยการต้มกับกรด และการตรวจวัดปริมาณฟอสเฟตทั้งหมดโดยการทำให้เกิดสี

ความสำคัญของฟอสเฟต

1. ฟอสฟอรัส เป็นอาหารที่สำคัญสำหรับสิ่งมีชีวิตในการสร้างเซลล์ใหม่ ดังนั้นการวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสจึงมีความสำคัญในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวะ

2. ฟอสฟอรัส เมื่อถูกทิ้งลงในแหล่งน้ำอาจจะกระตุ้นการเติบโตของพืชอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดปัญหาการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของพืชน้ำได้ (Eutrophication)

2. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับวิธีการบำบัดน้ำเสีย

น้ำทิ้งจะประกอบด้วยสารอินทรีย์และอนินทรีย์ในรูปของของแข็งและสารละลาย ดังนั้นกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปจึงประกอบด้วย กระบวนการย่อย ๆ มารวมกัน แต่ละขบวนการย่อยจะบำบัดสิ่งสกปรกชนิดต่าง ๆ กัน จัดแบ่งออกเป็น 4 วิธีการคือ

2.1 กระบวนการบำบัดด้วยวิธีการทางกายภาพ ใช้ในการกำจัดของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ การตกด้วยตะแกรง การกวาด การทำให้ลอย การแยกด้วยแรงเหวี่ยง การตกไขมัน เป็นต้น

2.2 กระบวนการบำบัดด้วยวิธีการทางเคมี ใช้ในการกำจัดสารประกอบต่าง ๆ ซึ่งส่วนมากเป็นสารอนินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำทิ้ง ได้แก่ การทำให้เป็นกลาง การทำให้เกิดตะกอน การใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน (Oxidation - Reduction) นอกจากนี้ยังใช้สารเคมีตัวอื่นมาช่วยในการตกตะกอน (Chemical Coagulation) เป็นต้น

2.3 กระบวนการบำบัดด้วยวิธีการทางเคมีกายภาพ ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์และอนินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำ ได้แก่ การแลกเปลี่ยนประจุ การออสโมซิสแบบย้อนทาง (Reverse Osmosis) เป็นต้น

2.4 กระบวนการบำบัดด้วยวิธีการทางชีววิทยา ใช้ในการบำบัดสารอินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์ย่อยสลายได้แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ กระบวนการบำบัดแบบใช้ออกซิเจน ได้แก่ บ่อผึ่ง (Oxidation Pond) สระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) แบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) ถังโปรยกรอง (Trickling Filter) เครื่องกรองชีวภาพ (Biological Filter) เป็นต้น

ในการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนจะต้องมีอาหารเสริมให้กับน้ำทิ้งอย่างพอเพียงในปริมาณอัตราส่วน บีโอดี : ไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส (BOD : N : P) สูงสุดประมาณ 100 : 5 : 1 นอกจากนี้ น้ำทิ้งต้องมีปัจจัยที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย เช่น ต้องมีอุณหภูมิและค่าพีเอช (pH) ที่เหมาะสมและไม่มีสารที่เป็นพิษต่อแบคทีเรีย ที่สำคัญที่สุดคือในน้ำทิ้งต้องมีปริมาณออกซิเจนพอเพียง มิฉะนั้นปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจนจะกลายเป็นแบบไม่ใช้ออกซิเจนทำให้น้ำทิ้งเน่าเหม็น ซึ่งหมายถึงความล้มเหลวของระบบบำบัดแบบนี้

ในระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจนอาจมีการจัดการให้แบคทีเรียบำบัดน้ำใน

2 ลักษณะ คือ

1. แบบที่แบคทีเรียอยู่ในลักษณะแขวนลอย (Suspension) ได้แก่ ระบบบ่อผึ่ง ระบบสระเติมอากาศ และระบบตะกอนเร่ง

2. แบบแบคทีเรียยึดเกาะกับตัวกลางอย่างหนึ่ง (Bacterial Bed) ซึ่งอาจอยู่กับที่ (Fixed Bed) ได้แก่ ระบบถังโปรยกรอง หรือเคลื่อนที่ (Moving Bed) ได้แก่ ระบบเครื่องกรองชีวภาพ (เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2518 : 140)

ออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์นั้น อาจได้มาจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย และจากการถ่ายเทออกซิเจนตามธรรมชาติระหว่างน้ำกับอากาศ (Atmospheric Aeration) เช่น ในระบบบ่อผึ่ง จากการผสมอากาศกับน้ำทิ้งโดยใช้เครื่องมือกล (Mechanical Aerators) หรือโดยการเป่าอากาศลงไปใต้น้ำทิ้งโดยตรง (Diffused Aeration) เช่น ในระบบบำบัดแบบบ่อเติมอากาศ และระบบตะกอนเร่งและ โดยการอัดก๊าซออกซิเจนเข้าไปใต้น้ำทิ้ง เช่น ในระบบเร่งตะกอนหรือโดยการเติมออกซิเจนบริสุทธิ์

สำหรับกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Process) ได้แก่ สระไร้อากาศ (Anaerobic Lagoon) การย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) การสัมผัสไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Contact) และถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter)

การบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน อาจกล่าวได้ว่าเป็นการบำบัดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับใช้ในเขตที่มีอากาศร้อน เช่น ประเทศไทย แต่เนื่องจาก

ปฏิกิริยาชีวเคมีแบบไม่ใช้ออกซิเจนต้องการอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูง การบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนจึงไม่ใช้กันแพร่หลายนักในประเทศที่มีอากาศหนาว เพราะจะต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงมากในการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำทิ้ง

การบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีทางชีวภาพ แบบไม่ใช้ออกซิเจนมีข้อดีที่สำคัญได้แก่

1. ในปฏิกิริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจน สารอินทรีย์ที่แบคทีเรียย่อยสลายได้ประมาณร้อยละ 80 - 90 จะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนที่ถูกนำไปสังเคราะห์สร้างเซลล์จึงมีน้อยมาก ส่วนในปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจนนั้นสารอินทรีย์ประมาณร้อยละ 50 จะถูกนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ ดังนั้นการบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน จึงมีปัญหากำจัดกากตะกอนน้อยมากเมื่อเทียบกับปัญหากำจัดกากตะกอนของการบำบัดแบบใช้ออกซิเจน เช่น ระบบบำบัดตะกอนเร่ง

2. ในการบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน ปริมาณอาหารเสริมที่แบคทีเรียต้องการจะน้อยกว่าในระบบใช้ออกซิเจนมาก เพราะแบคทีเรียมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ

3. การที่ไม่ต้องใช้ออกซิเจน จะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดลงได้มาก

4. ได้ก๊าซมีเทน ซึ่งอาจนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้

อย่างไรก็ตามการบำบัดน้ำทิ้งแบบไม่ใช้ออกซิเจน มีข้อเสียที่สำคัญคือ แบคทีเรียที่ใช้ในการบำบัดเจริญเติบโตได้ช้า จึงทำให้ต้องใช้เวลาในการเริ่มต้นระบบบำบัด และระบบบำบัดปรับตัวได้ไม่ดีนักต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำทิ้ง ปริมาณสารอินทรีย์ อุณหภูมิและสภาพแวดล้อมอื่น ๆ นอกจากนี้ในการบำบัดจะเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้นด้วย ซึ่งทำให้มีกลิ่นเหม็นและน้ำทิ้งอาจมีสีดำได้ เนื่องจากไฮโดรเจนซัลไฟด์ทำปฏิกิริยากับสารประกอบของโลหะต่าง ๆ ในน้ำทิ้งเกิดเป็นสารประกอบซัลไฟด์ซึ่งมีสีดำ

ดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำภูมิสถาปัตยกรรมโดยใช้เครื่องกลเติมอากาศเข้าช่วยพร้อมกับสภาพแวดล้อมของบ่อในงานภูมิสถาปัตยกรรมเป็นบ่อเปิดที่เป็นลักษณะสำคัญต่อการเลือกใช้วิธีทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจน

3. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการเติมอากาศ

3.1 ทฤษฎีการถ่ายเทออกซิเจน ออกซิเจนเป็นก๊าซที่ละลายในน้ำได้น้อยมาก ความเข้มข้นอิ่มตัว (Saturation Concentration) ของออกซิเจนในน้ำทิ้งหรือความเข้มข้นสูงสุดที่ออกซิเจนจะละลายอยู่ในน้ำได้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำ ความดันของบรรยากาศ

และความเข้มข้นของเกลือแร่ในน้ำ ค่าความเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจนในน้ำบริสุทธิ์ภายใต้ความดันประมาณ 1 บรรยากาศ อาจประมาณได้จากสูตร (เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2518 : 179)

$$C = \frac{475 - 2.65S}{33.5 + T}$$

เมื่อ C = ความเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจน มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

S = ความเข้มข้นของเกลือแร่ (Salinity) มีหน่วยเป็นกรัมต่อลิตร

T = อุณหภูมิของน้ำ มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

ค่าการละลายได้ต่ำ (Low Solubility) ของออกซิเจนเป็นปัจจัยสำคัญที่จำกัดความสามารถในการที่จะฟอกตัวเองให้บริสุทธิ์ของน้ำธรรมชาติ ปริมาณของออกซิเจนในน้ำจะมากหรือน้อยกว่าปริมาณที่อิ่มตัว ขึ้นอยู่กับสภาวะของน้ำนั้น เช่น ถ้ามีการสังเคราะห์แสงมากก็จะมีปริมาณออกซิเจนในน้ำสูง มีการละลายดีขึ้น

จากการศึกษาของ เบก้า (สมใจ กาญจนวงศ์. 2532 : 57 ; อ้างอิงมาจาก Baca. 1973) พบว่า ผลของการสังเคราะห์แสงและการหายใจของพืชต่อปริมาณของก๊าซออกซิเจนละลายน้ำอยู่ในช่วง 0.01 - 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตรในวงจรแต่ละวัน หรือการตกตะกอนของสารอินทรีย์ต่าง ๆ ลงสู่ใต้น้ำจะลดอัตราการใช้ออกซิเจนในน้ำ แต่ในขณะเดียวกันมีการสลายตัวของสารอินทรีย์ที่กระทำโดยใช้จุลินทรีย์ทำให้ออกซิเจนในน้ำถูกใช้ไป จึงเป็นผลให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง (กรรณิการ์ สิริสิงห์. 2522 : 149)

เนื่องจากการใช้ออกซิเจนและการรับออกซิเจนจะเกิดขึ้นพร้อมกัน ปริมาณของก๊าซออกซิเจนที่ละลายน้ำนี้ไม่ได้อยู่ในระดับอิ่มตัว อันเนื่องมาจากปฏิกิริยาย่อยสลายทางชีววิทยา ค่าที่แตกต่างกันระหว่างก๊าซออกซิเจนที่มีอยู่ในแหล่งน้ำและที่ระดับอิ่มตัว เรียกว่าความขาดแคลนออกซิเจนของน้ำ ซึ่งเป็นผลต่างระหว่างความเข้มข้นอิ่มตัวกับความเข้มข้นจริง

ดังนั้นรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงอัตราการเคลื่อนย้ายก๊าซจากอากาศไปสู่ น้ำ (มันสิน ตันทุลเวศม์. 2537 : 99) หรือการถ่ายเทออกซิเจนกับความขาดแคลนออกซิเจนเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$dc/dt = K_L a (C_s - C)$$

- เมื่อ dc/dt = อัตราการเกิดเอเรชั่น (ก๊าซถูกเคลื่อนย้ายจากอากาศไปสู่ น้ำ)
- K_L = สัมประสิทธิ์ของการเคลื่อนย้าย (Mass Transfer Coefficient)
หรือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน
- a = พื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะระหว่างอากาศกับน้ำ พื้นที่นี้วัดต่อหน่วย ปริมาตรของน้ำ (m^3)
- C_s = ความเข้มข้นของก๊าซที่อิ่มตัวในน้ำมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l)
- C = ความเข้มข้นของก๊าซในสารละลาย ในช่วงที่พิจารณามีหน่วย เป็นมิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l)

แต่เนื่องจากการวัดค่า a ทำได้ยากมาก จึงนิยมรวมค่า K และ a ไว้ด้วยกัน และเรียก $K_L a$ ว่าสัมประสิทธิ์ของการเคลื่อนย้ายรวม (Overall Transfer Coefficient) หรือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน

$$\text{จากรูปแบบคณิตศาสตร์ } dC / (C_s - C) = K_L a dt$$

$$\text{ปรับเป็น } K_L a = \frac{\ln [(C_s - C_1) / (C_s - C_2)]}{t_2 - t_1}$$

โดยที่ C_1 และ C_2 คือความเข้มข้นของก๊าซที่จุดเริ่มต้นที่เวลา t_1 และ t_2 ตามลำดับ เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $(C_s - C)$ ลงบนแกน Y และเวลา t ลงบนแกน X ในกระดาษกราฟแบบ Semi - Log จะได้กราฟเส้นตรงที่มี Slope เท่ากับ $K_L a$

3.2 กฎของเฮนรี (Henry's Law) เนื่องจากออกซิเจนสามารถละลายน้ำได้ ประมาณ 8 - 9 มิลลิกรัมต่อลิตรที่อุณหภูมิ 20 - 25 องศาเซลเซียส ถ้าน้ำไม่มีออกซิเจน การเติมอากาศสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำจนถึงความเข้มข้น 8 - 9 มิลลิกรัมต่อ ลิตรได้โดยไม่ยาก (มันสิน ตันกุลเวศม์, 2537 : 95)

กฎของเฮนรี ช่วยทำให้สามารถคำนวณความสามารถในการละลายน้ำของก๊าซ ต่าง ๆ ที่ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำ กฎนี้กล่าวว่าสำหรับก๊าซที่ละลายน้ำได้น้อยหรือปานกลาง ความสามารถในการละลายน้ำขึ้นอยู่กับปริมาณของก๊าซ (Partial Pressure) ในบรรยากาศเหนือผิวน้ำ โดยประมาณได้จากสูตร

$$C = K_h \bar{P}$$

เมื่อ C = ความเข้มข้นของก๊าซที่ละลายน้ำ มีหน่วยเป็นโมลต่อลิตร

K_h = ค่าคงที่ มีหน่วยเป็นโมลต่อลิตร - บรรยากาศ

P = ปริมาณของก๊าซวัดเป็น Partial Pressure (บรรยากาศ)

3.3 ทฤษฎีแอเรชัน การปรับปรุงลักษณะสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำ โดยการเพิ่มออกซิเจนให้กับน้ำ การเพิ่มออกซิเจนให้กับน้ำนี้เรียกว่า แอเรชัน (Aeration)

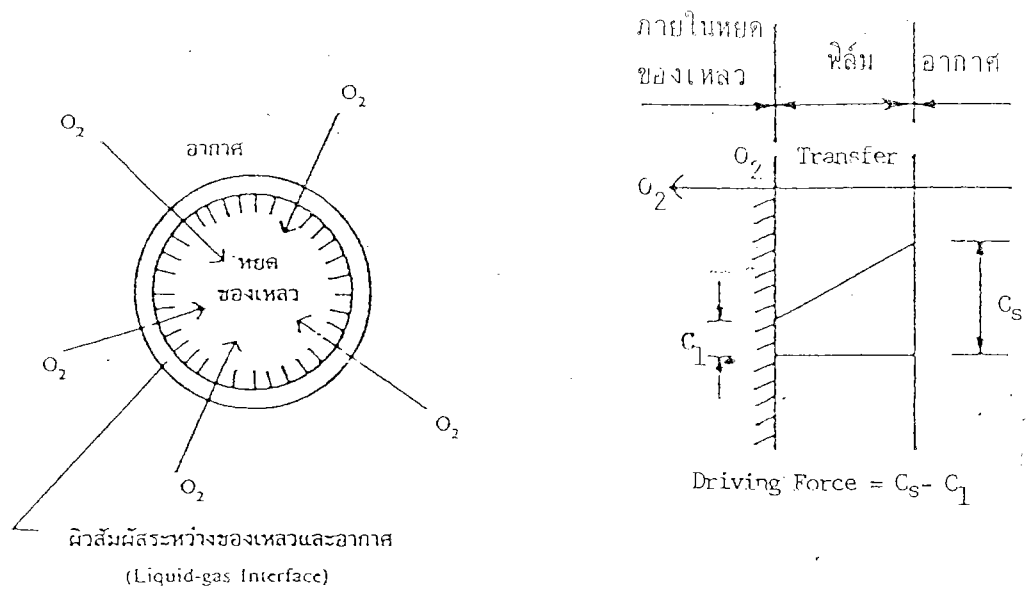
แอเรชันเป็นการเคลื่อนย้ายก๊าซจากอากาศไปสู่ น้ำหรือของเหลวอื่น ซึ่งเป็นผลมาจากผลต่างของความเข้มข้นของออกซิเจนในน้ำ

มันสิน ดันทุลเวศม์ (2537 : 96) ได้กล่าวถึงการเกิดแอเรชันโดยมีลำดับดังนี้

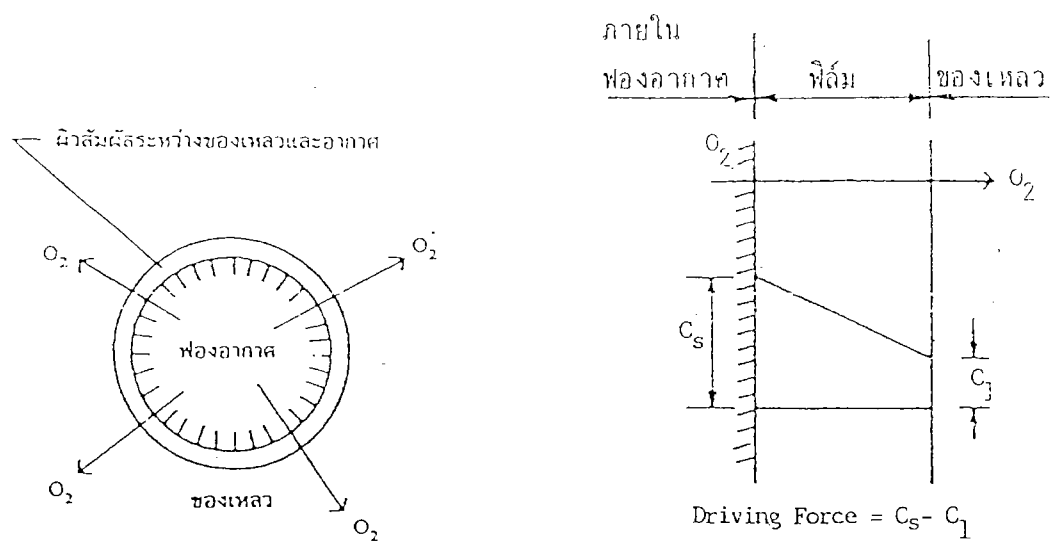
1. ทำให้การสัมผัสระหว่างอากาศกับน้ำเกิดขึ้นมากที่สุด วิธีปฏิบัติคือ เป่าอากาศลงไปใต้น้ำ หรือทำให้น้ำเป็นละอองเล็ก ๆ พ่นขึ้นไปในอากาศ ทั้งสองวิธีนี้เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างอากาศกับน้ำ ดังนั้นฟองอากาศหรือละอองน้ำมีขนาดเล็กยิ่งดี

2. โมเลกุลของก๊าซในอากาศเคลื่อนย้ายผ่านฟิล์มต่าง ๆ บนผิวน้ำเข้าไปในน้ำ แรงขับเคลื่อนที่ทำให้มีการเคลื่อนย้ายของโมเลกุลของก๊าซ คือความแตกต่างระหว่างก๊าซที่มีความเข้มข้นสูงในอากาศ และก๊าซที่มีความเข้มข้นต่ำ (หรือไม่มีเลย) ในน้ำ ฟิล์มบาง ๆ บนผิวน้ำเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนย้ายของก๊าซจากอากาศไปสู่ น้ำ อย่างไรก็ตามน้ำที่อยู่ใต้ฟิล์มจะมีความเข้มข้นของก๊าซถึงจุดอิ่มตัวอย่างรวดเร็ว

3. โมเลกุลของก๊าซจะแพร่กระจายจากบริเวณใต้ฟิล์มไปสู่จุดอื่น ๆ ของน้ำ จนกระทั่งน้ำทุกส่วนมีความเข้มข้นของก๊าซถึงจุดอิ่มตัว ดังภาพประกอบ 3



กรณีที่ 1 หยดของเหลวที่กระเด็นขึ้นบนอากาศ



C_s = ปริมาณออกซิเจนอิ่มตัวในของเหลว

C_1 = ปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ในของเหลว

กรณีที่ 2 ฟองอากาศอยู่ในของเหลว

การเคลื่อนย้ายก๊าซจากอากาศไปสู่ น้ำ ย่อมขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

1. ขนาดของละอองน้ำหรือฟองอากาศ เนื่องจากละอองน้ำหรือฟองอากาศที่มีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสได้มากกว่าละอองน้ำหรือฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่ ในเมื่อมีปริมาตรอากาศหรือน้ำเท่ากัน ดังนั้นการเคลื่อนย้ายก๊าซจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อละอองน้ำหรือฟองอากาศมีขนาดเล็ก เนื่องจากมีผิวสัมผัสมากกว่า

2. ความเข้มข้นของก๊าซที่มีอยู่เดิมในน้ำ ตามทฤษฎีของ เฮนรี ก๊าซสามารถละลายน้ำได้ไม่เกินระดับหนึ่ง ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณของก๊าซนั้นที่อยู่เหนือ น้ำ ถ้าในน้ำมีก๊าซน้อยกว่าความเข้มข้นสูงสุดที่เป็นไปได้ จะมีการเคลื่อนย้ายก๊าซจากอากาศเข้าสู่ น้ำ จนกระทั่งมีการอิ่มตัวของก๊าซเกิดขึ้น อัตราการเคลื่อนย้ายขึ้นอยู่กับผลต่างระหว่างความเข้มข้นที่จุดอิ่มตัวกับความเข้มข้นที่มีอยู่เดิม กล่าวคือถ้าผลต่างมีค่าสูง อัตราการเคลื่อนย้ายก๊าซก็สูงตามด้วย ดังนั้นจึงอาจถือได้ว่าผลต่างของความเข้มข้นดังกล่าวเป็นเสมือนแรงขับเคลื่อน (Driving Force) ที่ทำให้มีการเคลื่อนย้ายก๊าซเกิดขึ้น

3. ความเข้มข้นของก๊าซในอากาศ ดังได้กล่าวแล้วว่าผลต่างของความเข้มข้นอิ่มตัวและความเข้มข้นที่จุดเริ่มต้น เป็นแรงขับเคลื่อนที่ทำให้เกิดแอเรชั่น การเพิ่มความเข้มข้นที่จุดอิ่มตัวของก๊าซ โดยเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซในอากาศย่อมทำให้อัตราการเคลื่อนย้ายก๊าซเกิดขึ้นได้รวดเร็วมากยิ่งขึ้น ยกตัวอย่างเช่น อัตราการเคลื่อนย้ายออกซิเจนจากอากาศธรรมดา (ร้อยละ 20 ของ O_2) ให้กับน้ำ ย่อมเกิดช้ากว่าอัตราการเคลื่อนย้ายออกซิเจนจากอากาศที่มีออกซิเจนร้อยละ 90 - 100 อนึ่งความเข้มข้นของก๊าซที่อิ่มตัวในน้ำยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นด้วย เช่น ปริมาณของเกลือแร่ในน้ำ เป็นต้น

4. เวลาสัมผัสระหว่างอากาศกับน้ำ เนื่องจากการเกิดแอเรชั่น มี 3 ชั้น เวลาสัมผัสระหว่างอากาศกับน้ำจึงต้องพอเพียงเพื่อให้โมเลกุลของก๊าซมีเวลาเคลื่อนย้ายจากสถานะก๊าซไปยังอีกสถานะของเหลว หรือฟองอากาศจะต้องอยู่ในน้ำนานพอเพียง จนกระทั่งก๊าซทะลุผ่านฟิล์มของน้ำและแพร่กระจายเข้าไปในน้ำ

3.4 สมการแบร์นูลลี การไหลของของไหลในท่อจะเกิดปฏิกิริยาของแรงเสียดทานระหว่างของไหลกับผิวท่อ ซึ่งก่อให้เกิดการสูญเสียแรงดันไปตามทิศทางของการไหล ซึ่งปริมาณของแรงดันสูญเสียขึ้นอยู่กับเงื่อนไขเบื้องต้น 4 ประการคือ ความเร็วของการไหลเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อความยาวท่อ ความหนืดของท่อ

ในการวิเคราะห์สภาพการไหลมักจะสมมติให้การไหลอยู่ในสภาพคงที่ (Steady Flow) คืออัตราการไหล ความเร็วของน้ำ และแรงดัน มีค่าคงที่ไม่แปรเปลี่ยนไปตามเวลา ภายใต้การไหลเช่นนี้ สมการที่จะนำมาใช้วิเคราะห์คือ สมการพลังงานหรือสมการแบร์นูลลี (Energy of Bernoulli's Equation)

จากหลักการของงานและพลังงานสามารถนำมาใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความสูงของท่อ แรงดันภายในท่อ และความเร็วของน้ำในการไหลจากตำแหน่งหนึ่งไปยัง อีกตำแหน่งหนึ่ง เขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z_2 + h_L$$

เมื่อ P_1 = แรงดันภายในท่อ มีหน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2)

γ = น้ำหนักจำเพาะของน้ำ มีหน่วยเป็นนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร (N/m^3)

V = ความเร็วของการไหลของน้ำ มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/sec)

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาทีต่อวินาทีกำลังสอง (m/sec^2)

z = ความสูงของท่อเหนือระดับอ้างอิง มีหน่วยเป็นเมตร (m)

h_L = ความสูญเสียเนื่องจากความฝืดของผิวท่อและการสูญเสียย่อยจากจุดหนึ่งไปจุดสอง

$\frac{P}{\gamma}$ = หัวแรงดัน (Pressure Head) มีหน่วยเป็นเมตร (m)

$\frac{V^2}{2g}$ = หัวความเร็ว (Velocity Head) มีหน่วยเป็นเมตร (m)

การแปรเปลี่ยนพลังงานการไหลตามความยาวของท่อ อาจแสดงได้ด้วยเส้นลาดพลังงาน (Energy Grade Line) และการเปลี่ยนแปลงแรงดันแสดงได้โดยเส้นลาดชลศาสตร์ (Hydraulic Grade Line)

4. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับระบบเติมอากาศให้กับน้ำเสีย

การเติมอากาศในแหล่งน้ำเป็นวิธีการที่ใช้มากในการเพิ่มความสามารถในการรองรับน้ำเสียในแหล่งน้ำทั่วไป เพราะออกซิเจนเป็นปัจจัยสำคัญในปฏิกิริยาการย่อยสลายทางชีววิทยาของสารอินทรีย์ การเติมอากาศโดยใช้เครื่องเติมอากาศเป็นการแก้ปัญหาคุณภาพน้ำที่มีออกซิเจนไม่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ ซึ่งก่อให้เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายในสภาวะไร้ออกซิเจน

เครื่องเติมอากาศลงไปในน้ำเสียสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทดังนี้คือ

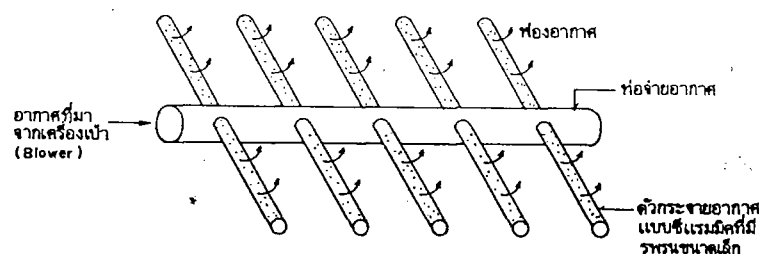
4.1 ระบบเติมอากาศแบบตัวกระจายอากาศ (Diffusers Aeration) ซึ่งอาศัยหลักการให้อากาศที่เกิดจากเครื่องเป่าอากาศ (Air Blower and Turbo Compressor) จะอัดอากาศความดันต่ำประมาณ 8 - 10 ปอนด์ ต่อตารางนิ้ว ผ่านไปตามท่ออากาศเข้าสู่ตัวกระจายอากาศ ทำให้อากาศกระจายเป็นฟองลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ (เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2518 : 185) ดังนั้นลักษณะฟองอากาศที่เกิดขึ้นนั้นมีขนาดที่ต่างกัน ได้แก่ ฟองอากาศขนาดเล็ก (Fine Bubbles) ฟองอากาศขนาดกลาง (Medium Bubbles) และ ฟองอากาศขนาดใหญ่ (Coarse Bubbles) ซึ่งเป็นที่มาของการจัดแบ่งชนิดของฟองอากาศที่เกิดจากตัวกระจายอากาศได้ 3 ชนิด ดังต่อไปนี้

4.1.1 ฟองอากาศขนาดเล็ก ตัวกระจายอากาศจะมีรูพรุน ขนาดรูจะเล็กมาก อาจมีลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ แบบแผ่น (Plate Diffusers) แบบท่อ (Tube Diffusers) แบบแผ่นจาน (Disc Diffusers) และแบบหมวกยอดกลม (Dome Diffusers) ตัวกระจายอากาศแบบนี้ต้องการอากาศที่สะอาดปราศจากฝุ่นละออง ดังภาพประกอบ 4, 5, 6, 7 และ 8

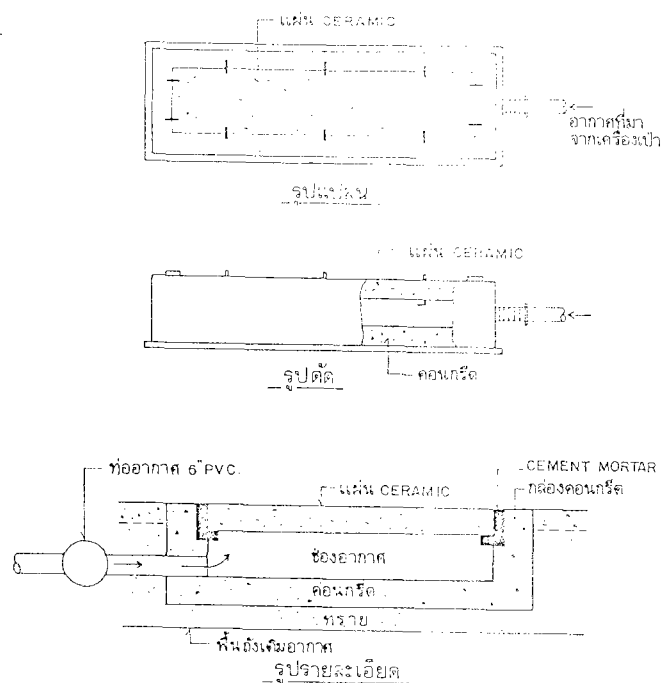
ประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนประมาณร้อยละ 10 ถึง 20 ณ สภาวะมาตรฐาน หรือเท่ากับ 1.2 ถึง 2.2 กิโลกรัมออกซิเจนต่อกิโลวัตต์ - ชั่วโมง (กก. O_2 / กิโลวัตต์ - ชั่วโมง) ขนาดฟองอากาศมีขนาด 2.0 ถึง 2.5 มิลลิเมตร

ข้อดีของตัวกระจายอากาศที่มีฟองอากาศขนาดเล็ก สามารถปรับอัตราการไหลของอากาศที่พ่นเข้าไปในน้ำให้มากหรือน้อย และมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนที่สูง

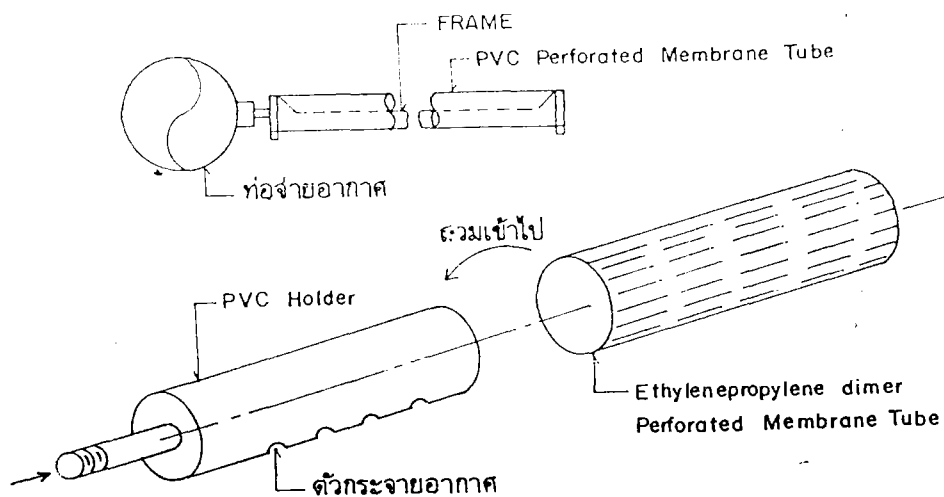
ข้อเสีย มีราคาแพง ทั้งค่าวัสดุและค่าบำรุงรักษา และควรมีการติดตั้งเครื่องกรองอากาศเพื่อป้องกันการอุดตันในรูพรุนนั้น



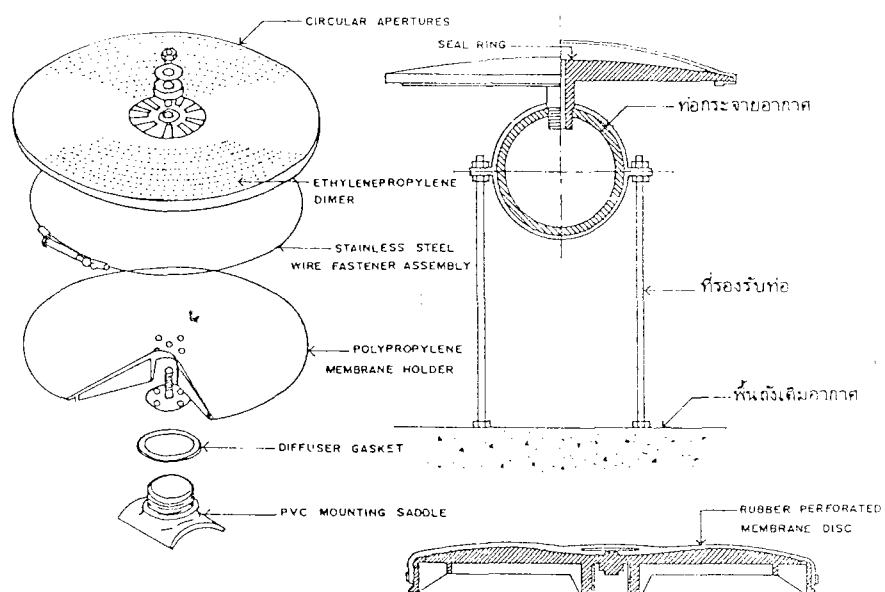
ภาพประกอบ 4 ลักษณะทั่วไปของตัวกระจายอากาศแบบ Fine Bubbles (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2537 : 144)



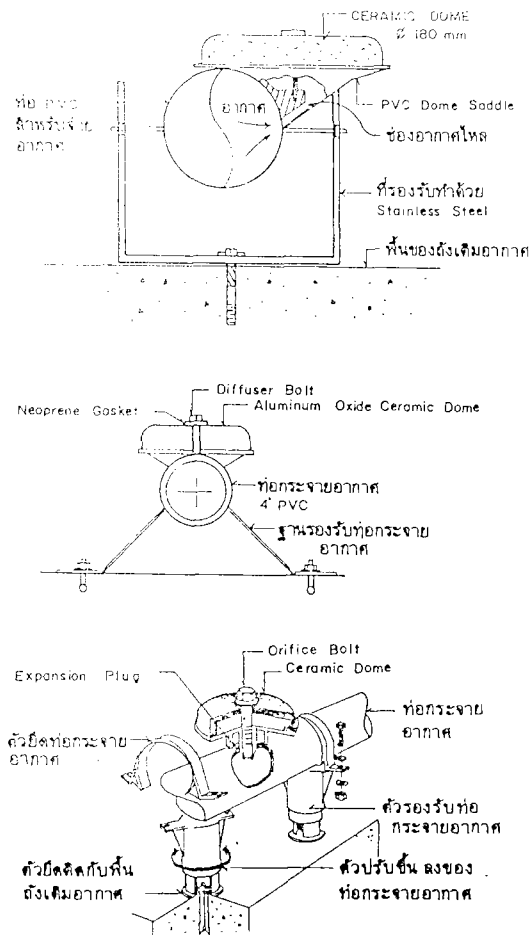
ภาพประกอบ 5 ลักษณะของตัวกระจายอากาศแบบแผ่น Plate Diffusers (เกรียงศักดิ์
อุดมสินโรจน์. 2537 : 147)



ภาพประกอบ 6 ลักษณะของตัวกระจายอากาศแบบท่อ Tube Diffusers (เกรียงศักดิ์
อุดมสินโรจน์. 2537 : 149)



ภาพประกอบ 7 ลักษณะของตัวกระจายอากาศแบบแผ่นจาน Disc Diffusers (เกรียงศักดิ์
อุดมสินโรจน์. 2537 : 151)



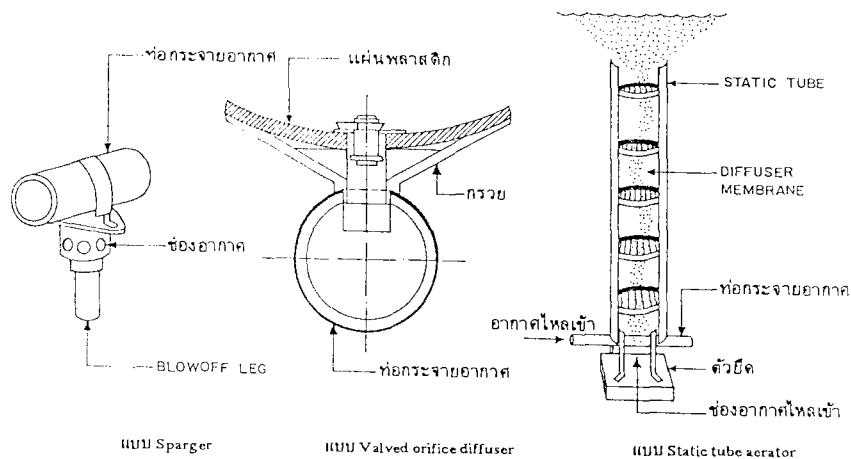
ภาพประกอบ 8 ลักษณะของตัวกระจายอากาศแบบหมวกยอดกลม Dome Diffusers
(เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2537 : 150)

4.1.2 ฟองอากาศขนาดกลาง ตัวกระจายอากาศจะมีรูพรุนขนาดกลาง โดยมากจะมีลักษณะเป็นท่อ มีรูเปิด (Orifices) ซึ่งทำด้วยเหล็กไม่ขึ้นสนิม (Stainless Steel) หรือพลาสติก อาจมีลักษณะต่าง ๆ กัน ได้แก่ แบบ Sparger แบบ Valved Orifice และ แบบ Static Tube Aerator ดังภาพประกอบ 9

ประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนประมาณร้อยละ 6 ถึง 15 ณ สภาวะมาตรฐาน หรือเท่ากับ 1.0 ถึง 1.6 กิโลกรัมออกซิเจนต่อกิโลวัตต์ - ชั่วโมง มีขนาดฟองอากาศใหญ่กว่า 2.5 มิลลิเมตรเล็กน้อย

ข้อดีของตัวกระจายอากาศที่มีฟองอากาศขนาดกลาง สามารถทำการกวนน้ำได้ทั่วถึง ค่าบำรุงรักษาต่ำ

ข้อเสีย มีราคาแพง และควรมีการติดตั้งเครื่องกรองอากาศเพื่อป้องกันการอุดตันในรูพรุนและช่วยยืดอายุการใช้งาน

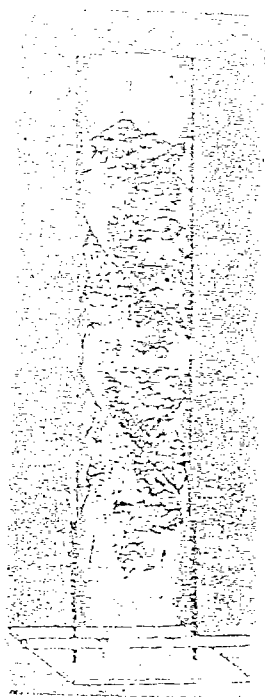


ภาพประกอบ 9 ลักษณะทั่วไปของตัวกระจายอากาศแบบ Medium Bubbles (เกรียงศักดิ์
อุดมสินโรจน์. 2537 : 145, 153)

4.1.3 ฟองอากาศขนาดใหญ่ ตัวกระจายอากาศจะมีรูที่มีขนาดใหญ่กว่า 2 ชนิดที่กล่าวมา ลักษณะของตัวกระจายอากาศเป็นท่อตั้ง ภายในท่อเป็นเกลียวหรือแผ่นกั้น (Baffles) เพื่อให้อากาศไหลวกไปวนมาอยู่ภายในท่อจนถูกแรงเฉือน (Shear) ทำให้แตกกระจายเป็นฟอง ดังภาพประกอบ 10

ประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนประมาณร้อยละ 4 ถึง 8 ณ สภาวะมาตรฐาน หรือเท่ากับ 0.6 ถึง 0.2 กิโลกรัมออกซิเจนต่อกิโลวัตต์ - ชั่วโมง ซึ่งน้อยกว่าแบบฟองอากาศขนาดเล็ก และฟองอากาศขนาดกลาง ขนาดฟองอากาศใหญ่กว่า 2.5 มิลลิเมตร

ข้อดีของตัวกระจายอากาศที่มีฟองอากาศขนาดใหญ่คือ ไม่ค่อยจะมีปัญหาเกี่ยวกับการอุดตัน ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษามีต่ำ ไม่จำเป็นต้องติดตั้งเครื่องกรองอากาศ ข้อเสีย มีราคาแพง และประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนต่ำมาก



ภาพประกอบ 10 ลักษณะของตัวกระจายอากาศแบบ Coarse Bubbles (เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2518 : 187)

4.2 ระบบเครื่องมือกล (Mechanical Aeration) เครื่องกลเติมอากาศที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน แบ่งออกได้เป็น 4 ชนิดคือ ชนิดเครื่องเติมอากาศที่ผิวหน้า (Surface Aerators) ชนิดเครื่องเติมอากาศเทอร์ไบน์ใต้น้ำ (Submerged Turbine Aerators) ชนิดเครื่องเติมอากาศใต้น้ำ (Submersible Aerator) และชนิดเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด (Jet Aerator) เครื่องเติมอากาศแต่ละชนิดจะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมเพื่อการใช้งานให้ได้ผลอย่างสมบูรณ์

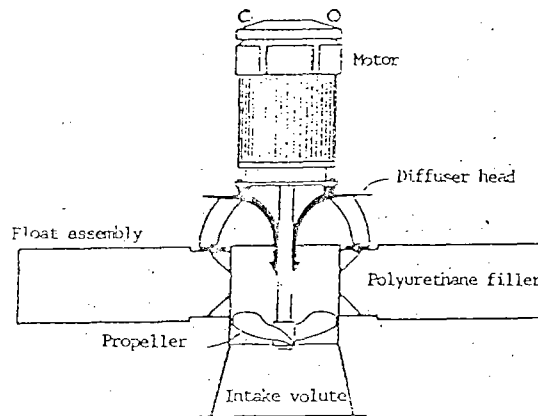
4.2.1 เครื่องกลเติมอากาศที่ผิวหน้า ทำหน้าที่ตีน้ำที่ระดับผิวน้ำให้กระจายเป็นเม็ดเล็ก ๆ ขึ้นมาสัมผัสกับอากาศเพื่อรับออกซิเจน แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่มีท่อดูด (Draft Tube) และประเภทที่ไม่มีท่อดูด (เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2518 : 192)

4.2.1.1 ประเภทที่มีท่อดูด โดยมากเป็นเครื่องเติมอากาศประเภทความเร็วสูง (High Speed) ใบพัดขับเคลื่อนโดยตรงด้วยมอเตอร์ หมุนในแนวตั้งด้วยความเร็วสูง ที่อาจสูงถึง 1,750 รอบต่อนาที ใบพัดมีลักษณะคล้ายใบจักรเรือจะดูดน้ำผ่านท่อดูดขึ้นไปกระทบกับเครื่องกระจายน้ำเพื่อให้น้ำแผ่กระจายเป็นฝอยรอบตัวเครื่อง

ดังภาพประกอบ 11

ข้อดี เคลื่อนย้ายและติดตั้งได้ง่ายและไม่มีส่วนประกอบที่ต้องการซ่อมบำรุงอยู่
ได้แก่

ข้อเสีย ไม่สามารถปรับให้ใช้พลังงานน้อยลงได้



ภาพประกอบ 11 เครื่องกลเติมอากาศที่ผิวหน้าแบบมีท่อดูด (เสริมพล รัตสุข และ
ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2518 : 155)

4.2.1.2 ประเภทที่ไม่มีท่อดูด โดยมากเป็นเครื่องเติมอากาศ
ประเภทความเร็วต่ำ (Low Speed) ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์และเกียร์ทดหมุนในแนวตั้ง
ด้วยความเร็วต่ำไม่เกิน 100 รอบต่อนาที หรือมีค่าความเร็วตามเส้นรอบวง (Peripheral
Speed) ใบพัดซึ่งบิดทำมุมกับผิวน้ำจะวิดน้ำขึ้นมาเหวี่ยงกระจายไปรอบ ๆ ตัวเครื่อง
ดังภาพประกอบ 12

ข้อดี มีอัตราการสูบน้ำหมุนเวียนสูงทำให้สามารถกวนน้ำได้เป็นปริมาณมาก และ
สามารถทำการปรับให้ใช้พลังงานลดลงได้ร้อยละ 30 - 50 โดยการลดระดับใบพัดที่จมน้ำ

ข้อเสีย การที่ลดอัตราการถ่ายเทออกซิเจนและลดพลังงานไฟฟ้า จะทำให้ลด
อัตราการสูบน้ำและการกวนน้ำตามไปด้วย

ไม่สามารถใช้ในระบบการที่มีอัตราการให้ออกซิเจน (Oxygen Uptake Rate)
สูง เช่น น้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงมาก ๆ

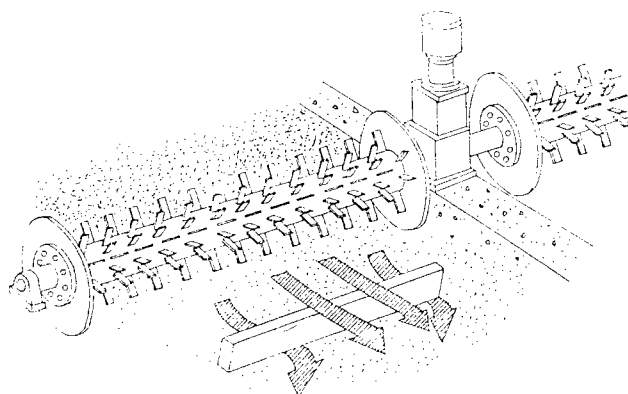


ภาพประกอบ 12 เครื่องกลเติมอากาศที่ผิวหน้าแบบไม่มีท่อดูด (เสริมพล รัตสุข และ
ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2518 : 193)

เครื่องเติมอากาศแบบเฟลาตี่น้ำในแนวนอน (Horizontal Surface Aerator) สามารถจัดไว้ในประเภทนี้เช่นกัน กล่าวคือเครื่องเติมอากาศจะหมุนตามแนวราบด้วยความเร็วต่ำ ประกอบด้วยใบพัดตีน้ำหลายอันรอบเพล ใบพัดเหล่านี้จะทำหน้าที่สาดน้ำขึ้นมาเป็นฝอย ความยาวของเครื่องขึ้นกับกำลังงานที่ใช้ ดังภาพประกอบ 13

ข้อดี เหมาะสำหรับติดตั้งในถังเติมอากาศ รูปร่างเป็นคู (Ditch) ซึ่งมีการไหลของน้ำไปในทิศทางเดียวกัน และสามารถลดการใช้พลังงานได้โดยการลดความลึกของใบพัดที่จมอยู่ในน้ำ

ข้อเสีย เหมาะสำหรับงานเฉพาะอย่าง ไม่สามารถใช้กับถังเติมอากาศรูปแบบทั่ว ๆ ไปได้ และราคาแพง

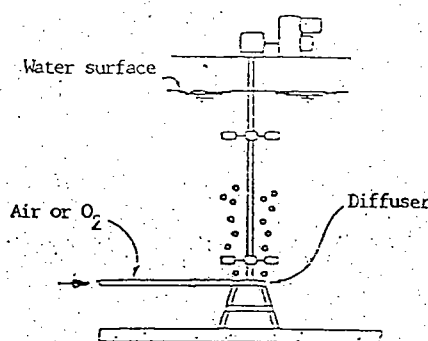


ภาพประกอบ 13 เครื่องเติมอากาศแบบเพลตน้ำในแนวนอน (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2537 : 185)

4.2.2 เครื่องกลเติมอากาศเทอร์ไบน์ได้น้ำ เครื่องกลเติมอากาศเทอร์ไบน์ได้น้ำมีลักษณะการทำงานผสมกันระหว่างระบบเป่าอากาศ และระบบเครื่องกลเติมอากาศ กล่าวคืออากาศจะถูกเป่ามาตามท่อมาที่ไดโบทัดน้ำ จากนั้นอากาศจะถูกใบพัดเทอร์ไบน์ดีเกิดฟองอากาศขนาดเล็กกระจายไปทั่วถึงเติมอากาศ ประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนประมาณ 1.5 ถึง 2.0 กิโลกรัมออกซิเจนต่อแรงแม้า - ชั่วโมง ดังภาพประกอบ 14

ข้อดี เหมาะสำหรับถังเล็ก สามารถลดการให้ออกซิเจนและลดการใช้พลังงานได้ โดยไม่เกี่ยวกับการกวนน้ำ

ข้อเสีย ต้องใช้เครื่องเป่าอากาศร่วมกับเครื่องกวนน้ำ ทำให้มีราคาแพงและต้องการการบำรุงรักษาเพิ่มขึ้น

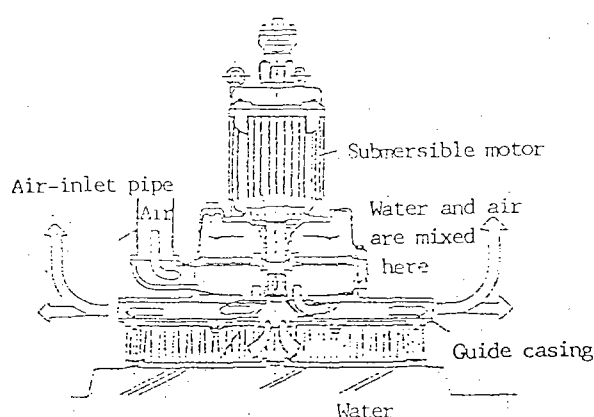


ภาพประกอบ 14 เครื่องกลเติมอากาศแบบเทอร์ไบน์ได้น้ำ (สุรพล สายพานิช. 2538 : 181)

4.2.3 เครื่องกลเติมอากาศใต้น้ำ เครื่องกลเติมอากาศใต้น้ำซึ่งได้รับการพัฒนามาในระยะเวลาไม่นานนัก โดยมีลักษณะผสมกันระหว่างเครื่องสูบน้ำ เครื่องเป่าอากาศ และเครื่องตีอากาศให้ผสมกับน้ำ (Disperser) อยู่ในเครื่องเดียวกัน ประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนประมาณ 0.8 ถึง 1.2 กิโลกรัมออกซิเจนต่อแรงแม - ชั่วโมง ดังภาพประกอบ 15

ข้อดี ใช้กับระบบที่มีระดับน้ำเปลี่ยนแปลงได้ โดยสามารถทำงานได้ที่ความลึก 4 - 6 เมตร ไม่มีปัญหาเรื่องเสียงรบกวน และละอองน้ำ

ข้อเสีย มีประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนและการกวนน้ำต่ำ ทำให้คุณภาพของน้ำสูงขึ้น และต้องการบำรุงรักษาสูง

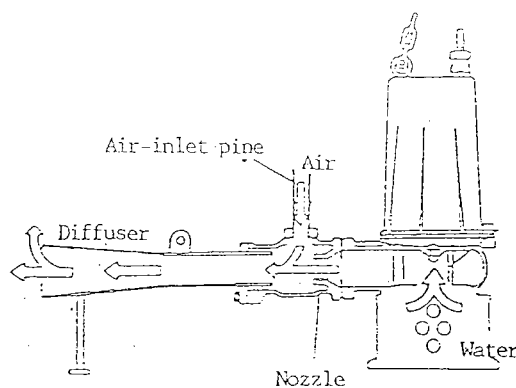


ภาพประกอบ 15 เครื่องกลเติมอากาศใต้น้ำ (สุรพล สายพานิช. 2538 : 181)

4.2.4 เครื่องกลเติมอากาศแบบหัวฉีด หลักการทำงานของเวนทูรี อีเจกเตอร์ อาศัยเครื่องสูบน้ำแบบได้น้ำฉีดน้ำผ่านท่อที่ลดขนาดลง เพื่อเพิ่มความเร็วของน้ำจนกระทั่งเกิดแรงดูดอากาศจากผิวน้ำลงมาผสมกับน้ำ เมื่ออากาศถูกนำมาผสมกับน้ำที่มีความเร็วสูงก็จะเกิดแรงเฉือนทำให้เกิดเป็นฟองอากาศ ซึ่งประสิทธิภาพในการให้ออกซิเจนประมาณ 0.6 ถึง 1.0 กิโลกรัมออกซิเจนต่อแรงแม - ชั่วโมง ดังภาพประกอบ 16

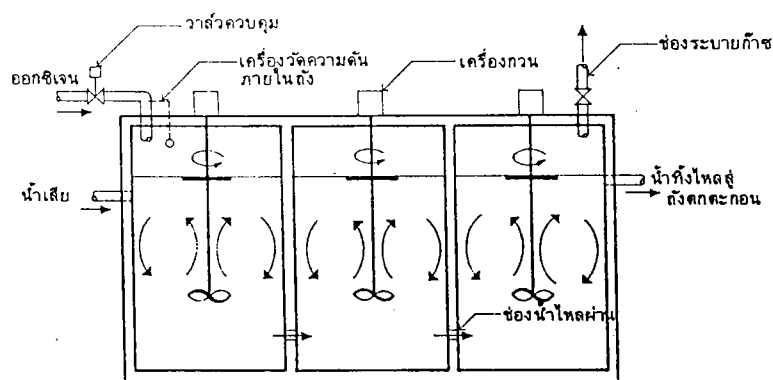
ข้อดี เครื่องเติมอากาศชนิดนี้คือ ไม่ต้องใช้เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ยุ่งยาก ไม่มีเสียงรบกวนเหมาะสำหรับงานเฉพาะอย่าง

ข้อเสีย มีประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนต่ำ และหากน้ำเสียมีเศษขยะหรือของแข็งขนาดใหญ่จะทำให้ท่ออุดตันได้ง่าย



ภาพประกอบ 16 เครื่องกลเติมอากาศแบบหัวฉีด (สุรพล สายพานิช. 2538 : 183)

4.3 ระบบใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์ (High - Purity Oxygen) ระบบเติมอากาศแบบนี้ เป็นการเติมออกซิเจนโดยตรงที่มีออกซิเจนบริสุทธิ์แทนการใช้อากาศเติมลงไปใต้น้ำที่ถังเติมอากาศ โดยระบบนี้มีถังเติมอากาศซึ่งถูกแบ่งออกเป็น 3 ถัง หรือ 3 ส่วน ด้วยแผ่นกั้นขวาง เพื่อให้ระบบมีลักษณะการไหลแบบ Plug Flow มีฝาปิดที่ถังเติมอากาศ เมื่อออกซิเจนบริสุทธิ์ถูกพ่นเข้าไปภายในถังก็จะเกิดการถ่ายเทออกซิเจนลงไปใต้น้ำ และภายในถังจะมีช่องระบายก๊าซออก ซึ่งจะประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจน ประมาณร้อยละ 10 ถึง 20 ของออกซิเจนที่เติมเข้าไปตอนต้น ระบบนี้จะมีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีชีววิทยา เมื่อเปรียบเทียบกับระบบเติมอากาศแบบอื่น ๆ ที่ใช้อากาศเติมลงไปใต้น้ำ ระบบนี้สามารถรับการเพิ่มขึ้นของน้ำเสียและสามารถป้องกันการเกิดกลิ่นเหม็นขึ้นในน้ำเสียได้ เนื่องจากระบบอยู่ในสภาพมีอากาศตลอดเวลา ดังภาพประกอบ 17



ภาพประกอบ 17 ระบบเติมออกซิเจนบริสุทธิ์ในถังเติมอากาศ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2537 : 192)

4.4 ความรู้พื้นฐานของหลักการเครื่องกลเติมอากาศแบบหัวฉีด เครื่องกลเติมอากาศแบบหัวฉีดเป็นเครื่องมือที่ใช้ของไหลขับ (Driving Fluid) ผ่านท่อที่ลดขนาดลงเพื่อที่จะทำให้เกิดการดูดอากาศลงมาผสม ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของของเหลว ก๊าซที่สอดคล้องกับองค์ประกอบของของไหลและสถานะของของไหลที่มี 2 สถานะ และ 2 องค์ประกอบ เพราะว่าน้ำและอากาศเป็นของไหล 2 สถานะ ซึ่งแตกต่างกันและเป็นของไหลคนละชนิดกัน

เครื่องกลเติมอากาศแบบหัวฉีด ถึงแม้ว่าในความเป็นจริงจะได้รับการใช้งานในขอบเขตที่จำกัด แต่ก็สามารถประยุกต์ใช้งานหลายชนิดได้เป็นอย่างดี และข้อได้เปรียบของเครื่องกลเติมอากาศแบบหัวฉีดเหนือเครื่องเติมอากาศแบบอื่น คือความไม่ซับซ้อนในการสร้าง ตลอดจนการใช้งานและความง่ายในการบำรุงรักษา เนื่องจากการไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ (Moving Parts)

ส่วนประกอบและหลักการทำงานของเครื่องกลเติมอากาศแบบหัวฉีดน้ำ

เครื่องกลเติมอากาศแบบหัวฉีด เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเติมออกซิเจนให้แก่งานบำบัดน้ำเสีย โดยการถ่ายเทพลังงานจากลำน้ำฉีดซึ่งมีความเร็วสูงไปสู่ลำอากาศซึ่งมีความเร็วต่ำ โดยการเปลี่ยนพลังงานความดันของลำน้ำขับไปเป็นพลังงานความเร็ว โดยวิธีการของหัวฉีดลำน้ำ ซึ่งมีความเร็วสูงจะผสมกับลำของอากาศที่ถูกดูด ซึ่งมีความเร็วต่ำโดยวิธีการผสมแบบเทอบูเลนต์ (Turbulent) ในห้องผสม (Mixing Chamber) ลำน้ำที่ได้จากการผสมนี้จะถูกส่งผ่านดิฟฟิวเซอร์ (Diffuser) เพื่อที่เปลี่ยนจากความเร็วเป็นหัวความดัน (Pressure Head)

เมื่อพลังงานความดันของลำน้ำได้รับการเปลี่ยนเป็นพลังงานความเร็ว โดยวิธีการของหัวฉีดทำให้ความดันตรงที่ทางออกของหัวฉีดต่ำลง ซึ่งจะทำให้เกิดแรงดูดขึ้นที่ขอบเขตของน้ำ ส่งผลต่อการเหนี่ยวนำอากาศจากผิวน้ำลงมาทำให้เกิดการผสมผสานกันระหว่างลำน้ำขับและลำอากาศที่ถูกดูด การแลกเปลี่ยนโมเมนตัมได้ทำให้เกิดการเร่งของอากาศ ซึ่งได้รับการดูดในทิศทางของการไหลของลำน้ำขับ ภาวะการดูดอากาศเกิดขึ้นตรงทางเข้าห้องผสม (Mixing Chamber Entrance) หรืออาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า หัวฉีดดูด (Suction Nozzle) ต่อเนื่องไปจนถึงห้องดูดซึ่งเป็นส่วนรองรับอากาศที่ถูกเหนี่ยวนำลงมา ขณะที่ลำน้ำไหลผ่านไปยังปลายทาง ลำน้ำและอากาศที่ถูกดูดก็จะผสมกันในห้องผสมที่ทางเข้าห้องผสม ลำของอากาศซึ่งได้รับการดูดจะเติมเข้าไปยังบริเวณที่ว่างเป็นรูปวงแหวนระหว่างลำน้ำขับและผิวของห้องผสมที่ทางออกของห้องผสม การผสมได้เสร็จสมบูรณ์ และลำน้ำก็จะไหลต่อไปข้างหน้าด้วยความเร็วเดียวกันซึ่งจะผ่านไปยังดิฟฟิวเซอร์ ซึ่งทำให้หัวความดัน (Head) สูงขึ้นและจะเปลี่ยนพลังงานจลน์ให้เป็นพลังงาน ความดัน

4.5 วัสดุที่นำมาใช้เป็นส่วนประกอบในการออกแบบสร้างกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด ได้พิจารณาเลือกวัสดุที่มีน้ำหนักเบาทนต่อการกัดกร่อนโดยที่หาซื้อได้ในราคาถูกตามท้องตลาดภายในประเทศและอุปกรณ์บางส่วนใช้อุปกรณ์สำเร็จรูปมาเป็นส่วนประกอบ

โพลีเอไมด์ (Polyamide) เป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก (Thermo Plastic) ใช้กรรมวิธีการผลิตแบบรีด (Extrusion) เป็นรูปหน้าตัดแบบแท่งตัน มีลักษณะทางกายภาพเป็นวัตถุทึบแสง มีสีขาว น้ำหนักเบา

คุณสมบัติที่สำคัญ มีความแข็งแรง เหนียว มีความคงทนต่อการกัดกร่อนต่อสารเคมีที่ไม่ใช่กรดเข้มข้น

ความสามารถในการปรับแต่งรูปชิ้นงาน โพลีเอไมด์สามารถใช้เครื่องจักรเครื่องมืออุปกรณ์ทั่ว ๆ ไป เช่น เครื่องกลึง เครื่องเจาะ เครื่องไส เครื่องคว้าน ทำการขึ้นรูปเป็นชิ้นส่วนของกรวยเติมอากาศได้

ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปของ โพลีเอไมด์ เป็นชนิดแท่งกลมตัน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 10 - 300 มิลลิเมตร ยาว 1,000 มิลลิเมตร บริษัท สยามคาสท์ในลอน จำกัด เป็นผู้แทนจำหน่าย โดยใช้ชื่อการค้าว่า Superlene Nylon

ส่วนอุปกรณ์สำเร็จที่นำมาประกอบเพื่อให้พลังงานแก่ของไหลเป็นเครื่องสูบน้ำ (Submersible Pump) ที่มีมอเตอร์อยู่ในตัวเรือนเดียวกัน ขนาดท่อทางออก 40 มิลลิเมตร กำลังที่ 700 วัตต์ แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ 1 เฟส 50 เฮิร์ตซ์ กระแสไฟฟ้าที่ 6 แอมแปร์ อัตราการไหลที่ 21 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง หัวแรงดันวัดเป็นแท่งความสูงของน้ำมีหน่วยเป็นเมตร (m) ที่ 15 เมตรของน้ำตามป้ายบอกคุณลักษณะที่สำคัญของมอเตอร์ (Name Plate)

5. การหาประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศ

การทดสอบที่สภาวะไม่เสถียรหรือการเติมอากาศใหม่ของน้ำสะอาดที่ไม่มีออกซิเจนเป็นวิธีที่ใช้กันมากที่สุด เป็นวิธีที่ใช้ในการวิจัยและพัฒนาเครื่องเติมอากาศ

การลดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ สามารถทำได้สองวิธีคือ การเติมโซเดียมซัลไฟท์ และโคบอลท์ หรือใช้ก๊าซไนโตรเจนเป่าไล่ จากการวิจัยพบว่า โคบอลท์มีผลต่ออัตราการถ่ายเทออกซิเจน แต่เนื่องจากการใช้ก๊าซไนโตรเจนเป่าไล่มีราคาแพง จึงยังคงใช้โซเดียมซัลไฟท์และโคบอลท์อยู่ต่อไปในแทบทุกกรณี โดยทั่วไปเครื่องเติมอากาศจะกำหนดค่าประสิทธิภาพในการเติมออกซิเจนเอาไว้ที่ค่าสภาวะมาตรฐาน ในสหรัฐอเมริกากำหนดค่าสภาวะมาตรฐานคือ ค่าที่ใช้กับน้ำสะอาด (Tap Water) มีค่าออกซิเจนละลายน้ำอยู่ที่ 0 มิลลิกรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ที่ระดับน้ำทะเล

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับเอกสารที่เกี่ยวข้องนั้นได้ศึกษาเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ตชนิดของเหลวของเหลวซึ่งใช้น้ำเป็นของไหลที่ใช้สำหรับขับเคลื่อนน้ำเข้ามาผสมกัน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือเครื่องสูบน้ำแบบเจ็ต ซึ่งมี 1 สถานะ และ 1 องค์ประกอบ มีหลักการบนพื้นฐานเดียวกันกับเครื่องสูบน้ำของเหลว - ก๊าซ

การวิเคราะห์การออกแบบขององค์ประกอบต่าง ๆ ของเครื่องสูบน้ำเจ็ต ซึ่งได้ทำการทดลองโดยผู้วิจัยคนอื่น ๆ ซึ่งได้รับการรวบรวมขึ้น การวิเคราะห์ได้นำไปสู่การออกแบบที่ดีของแต่ละองค์ประกอบ ข้อมูลเหล่านี้เป็นข้อมูลที่มีความสำคัญในการนำมาประยุกต์ออกแบบส่วนต่าง ๆ ของกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด

6.1 หัวฉีดขับ (Driving Nozzle) คือหัวฉีดซึ่งให้พลังงานขับที่จำเป็น การหดตัวลู่เข้าที่ละเล็กละน้อยจะเปลี่ยนพลังงานความดันไปเป็นพลังงานจลน์ และความสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานเท่านั้น เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกหัวฉีดขับ d_m จะเป็นไปตามสูตรนี้คือ (กิริติ ลีวัจนกุล. 2534 : 237)

$$Q_m = C_d \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_m^2 \cdot [2gP]^{1/2}$$

เมื่อ C_d = สัมประสิทธิ์ทางออก

P = หัวความดันรวมที่หัวฉีดขับ มีหน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2)

Q_m = อัตราการไหลที่ท่อขับ มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (m^3/sec)

6.2 ทางเข้าห้องผสมเป็นส่วนซึ่งครอบคลุมหัวฉีดขับ ความสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในห้องดูดเป็นผลรวมของความสูญเสียที่ผิวในของทางเข้าห้องผสม และผิวนอกของหัวฉีดขับ (Reddy and Kar. 1968 : 1261 - 1281) นั่นคือค่ามุม Suction Cone ของทางเข้าห้องผสมที่มีลักษณะของปากทางเข้าเป็นรูปประฆังที่เรียบ ซึ่งได้แนะนำโดยผู้วิจัยคนอื่น ๆ ได้สรุปโดย ครอลล์ ควรมีค่ามุมมากกว่า 20 องศา (Kroll. 1947 : 21-24) หรือมีมุม Semicone เหมือนอย่างหัวฉีดขับ

6.3 ห้องผสม เป็นส่วนหนึ่งที่ได้รับการออกแบบอย่างสำคัญที่สุด การผสมของลำของไหลที่เสถียรขึ้นโดยการเพิ่มความดันสถิตย ความยาวที่ดีที่สุดที่เกิดขึ้นจริงจะเป็นความยาวซึ่งความดันสถิตยที่เพิ่มขึ้นเท่ากับความดันที่ลดลงเนื่องจากแรงเสียดทาน (Mueller. 1964 : 83 - 113) ค่าของความยาวของห้องผสม (L_{MC}/d_s) ได้รับการ

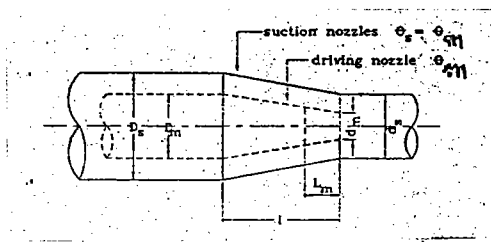
แนะนำโดย ครอลล์ ตั้งแต่ 7 ถึง 9 (Kroll. 1947 : 21 - 24) ซาบาย, เรดดี และ คาร์ ได้กล่าวว่าเครื่องสูบน้ำที่มีความยาวห้องผสมเป็น 5.66 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสมแสดงประสิทธิภาพที่ดี ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำซึ่งมีความยาวห้องผสมยาวกว่าจะมีความสูญเสีย เนื่องจากความเสียดทานในห้องผสมมากกว่า

ความยาวห้องผสมยิ่งสั้นจะมีผลทำให้เกิดการต่อเนื่องของการผสมเข้าไปสู่ ดิฟฟิวเซอร์กับความสูญเสียของประสิทธิภาพที่น้อยลง และได้สรุปว่าความยาวของห้องผสม ประมาณ 8 เป็นอัตราส่วนที่ดี (Chhabria, Reddy and Kar. 1970 : 315 - 320)

6.4 ระยะหัวฉีดขับ เป็นระยะทางจากทางออกของหัวฉีดขับไปถึงทางเข้าของห้องผสม ยิ่งระยะหัวฉีดขับมากจะสามารถทำให้ลำน้ำขับและลำอากาศชนกันที่ทางเข้าห้องผสม ประสิทธิภาพในการผสมจะเพิ่มขึ้นกับระยะหัวฉีดขับ และจะถึงค่าที่ดีที่สุดกับการเพิ่มขึ้นของระยะหัวฉีดขับอีกจะไม่มีผล ระยะหัวฉีดขับโดยทั่วไปเป็นหนึ่งถึงสองเท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกหัวฉีดขับ (Mueller. 1964 : 83 - 113)

แซนเจอร์ ได้แสดงว่าตำแหน่งหัวฉีดขับที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดจะเป็นฟังก์ชันกันของความยาวห้องผสม ความยาวห้องที่สั้น ($L_{MC}/d_s \approx 3.54$) ต้องการระยะทางของทางออกหัวฉีดจากทางเข้าห้องผสมมาก ความยาวห้องผสมที่ยาว ($L_{MC}/d_s \approx 7.25$) ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อระยะหัวฉีดขับมีค่าเป็นศูนย์และระยะหัวฉีดขับมีผลต่อการพิจารณาในประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำทางด้านควิเตชัน การเพิ่มขึ้นของระยะหัวฉีดขับจะลดการเกิดควิเตชัน แต่จะทำให้ประสิทธิภาพลดลง อัตราส่วนของระยะหัวฉีดอาจเป็น $L_M/d_m \approx 2.00$ สำหรับภาวะที่ปลอดควิเตชัน (Sanger. 1970 : 11 - 20) ดังภาพประกอบ 18

ควิเตชัน (Cavitation) เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในเครื่องสูบน้ำ เนื่องจากความดันที่ตำแหน่งช่องทางเข้าของเครื่องสูบลดต่ำกว่าค่าความดันไอของของเหลว เมื่อความดันลดลงมากของเหลวจะระเหยกลายเป็นไอ ทำให้เกิดเป็นฟองอากาศเล็ก ๆ มากมาย ซึ่งเมื่อผ่านไปยังส่วนที่มีความดันสูงก็จะกลั่นตัวเป็นของเหลวเหมือนเดิม ฟองอากาศเล็ก ๆ ที่แตกตัวในทันทีทันใดจำนวนมากจะทำให้เกิดแรงกระแทก (Water Hammer) ซึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายต่อใบพัดของเครื่องสูบน้ำ ปรากฏการณ์เช่นนี้จะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสูบลดลงอย่างมาก



ภาพประกอบ 18 ลักษณะทางเรขาคณิตของหัวฉีดขับ

6.5 ดิฟฟิวเซอร์ คือทางผ่านซึ่งจะบานออกทีละเล็กละน้อย ซึ่งเปลี่ยนพลังงานจลน์ของลำของไหลซึ่งได้ถูกผสมเป็นพลังงานศักย์ สำหรับอัตราส่วนพื้นที่ขณะที่มุมเพิ่มขึ้น ความสูญเสียเนื่องจากการแยกตัวเพิ่มขึ้น แต่เมื่อมุมลดลงความยาวของดิฟฟิวเซอร์ก็เพิ่มขึ้น และผลที่ตามมาคือการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานเพิ่มขึ้น (Mueller. 1964 : 96)

ขณะที่ ครอลล์ (Kroll. 1947 : 21 - 24) ได้รวบรวมงานการออกแบบส่วนต่างๆ ของเครื่องสูบลมที่กระทำโดยบุคคลอื่น ๆ และได้แนะนำโดยสรุปได้ดังนี้

- 1) ลักษณะของมุมลู่เข้าของหัวฉีดที่ต้องการสำหรับการออกแบบ
- 2) ลักษณะของห้องผสมตลอดจนความยาวที่จำเป็น
- 3) การพิจารณาระยะหัวฉีดต่อห้องผสม
- 4) ลักษณะทางเข้าของของไหลที่มีต่อห้องผสม
- 5) ตำแหน่งเหนี่ยวนำอากาศ และ
- 6) อัตราส่วนที่จำเป็นของส่วนต่าง ๆ ของเครื่องสูบลม

เหล่านี้มีผลต่อการพิจารณาในการออกแบบที่ส่งผลต่อการทดลอง

จากการศึกษางานการออกแบบเครื่องสูบลมผู้วิจัยพบว่า ไม่มีการศึกษาถึงส่วนต่าง ๆ ของเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด แต่พบว่า งานการออกแบบบางเรื่องที่เกี่ยวข้อง เช่น งานออกแบบเครื่องสูบลมของคอลล์ ซึ่งได้แนะนำถึงลักษณะของส่วนประกอบในแง่ต่าง ๆ ดังกล่าวแล้วข้างต้น ผู้วิจัยได้นำมาเป็นแนวทางในการออกแบบสร้างกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีดได้เป็นอย่างดี

7. แนวคิดในการออกแบบ

กรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีดที่จะดำเนินการออกแบบขึ้นมาในครั้งนี้ จัดเป็นประเภทระบบเครื่องกลเติมอากาศ (Mechanical Aeration Systems) มีวัตถุประสงค์สำหรับนำไปใช้กับแหล่งน้ำในงานภูมิสถาปัตยกรรมเพื่อความเหมาะสม ดังนั้นการสร้างเครื่องมือจึงได้ใช้เทคโนโลยีและวิธีการที่ใช้อยู่แล้วในปัจจุบันสร้างเครื่องมือขึ้นมา โดยยึดพื้นฐานทางด้านหลักการของเครื่องเช่นเดียวกับเครื่องกลเติมอากาศแบบหัวฉีด แต่ในขณะเดียวกันก็มีการออกแบบตรงส่วนของหัวฉีดชนิดหัวฉีดปากผายให้ทำงานร่วมกับหัวฉีดชนิดรูตีบ เพื่อเร่งความเร็วในการไหลของของไหล และส่วนตัวเกลียวผสมภายในห้องผสมให้เกิดการผสมกันอีกครั้งหนึ่งโดยการเพิ่มผิวสัมผัสระหว่างอากาศกับน้ำ เพื่อให้โมเลกุลของอากาศเคลื่อนย้ายผ่านแผ่นฟิล์มบาง ๆ ของน้ำเข้าไปในน้ำ โดยวิธีการผสมแบบเทอบูเลนต์

เนื่องจากลำน้ำได้ไหลผ่านส่วนต่าง ๆ ของกรวยเติมอากาศความสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานในส่วนต่าง ๆ ของกรวยเติมอากาศจะส่งผลต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจนลงไปใต้น้ำ ดังนั้นความสูญเสียที่เกิดขึ้นได้นำมาพิจารณาดังนี้

- 1) ความสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในท่อขับ (Friction Loss in Driving Line)
- 2) ความสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในหัวฉีดขับ(Driving Nozzle Loss)
- 3) ความสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในห้องดูด (Suction Chamber Loss)
- 4) ความสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในห้องผสม (Friction Loss in the Mixing Chamber)
- 5) ความสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในดีฟิวเซอร์ (Diffuser Loss)

7.1 ความสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในท่อขับ ความสูญเสียที่ได้พิจารณาและใช้ในการสังเกตร่วมโดยการทดลองท่อขับได้รับการสร้างที่มีความยาวแน่นอนอยู่ระหว่างท่อขับและหัวฉีดขับ แล้วจะพบต่อมาว่า ค่าความสูญเสียมีน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับความสูญเสียเนื่องมาจากสาเหตุอื่น

ความสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานนี้สามารถเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

เมื่อ h_f = ความสูญเสียหัวแรงดันเนื่องจากความฝืดผิวท่อในท่อขับ
มีหน่วยเป็นเมตร (m) ของน้ำ

f = แฟคเตอร์ความเสียดทาน

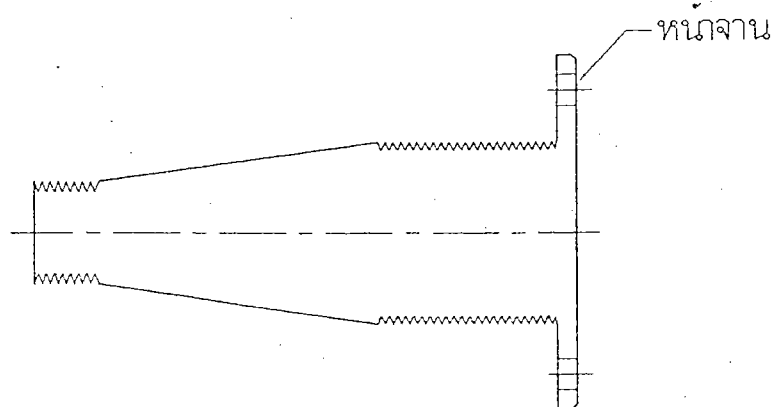
L = ความยาวท่อ มีหน่วยเป็น (m)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ มีหน่วยเป็นเมตร (m)

V = ความเร็วของการไหล มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/sec)

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาทีกำลังสอง (m/sec²)

เพื่อที่จะลดความสูญเสียความเสียดทานที่เกิดขึ้นในท่อขับ การออกแบบท่อขับจึงจะละทิ้งความยาวของท่อขับโดยให้มีการใช้หน้าจานรวมอยู่ในหัวฉีดชนิดรูปดังภาพประกอบ 19



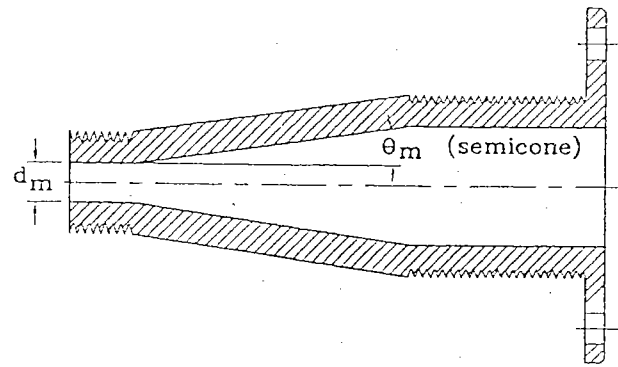
ภาพประกอบ 19 การออกแบบหน้างานที่รวมอยู่ในหัวฉีดชนิดรูป

7.2 ความสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในหัวฉีดชนิดรูป การพิจารณาถึงความสูญเสียสำหรับหัวฉีดชนิดที่มี Profile เป็น Stream Line วิธีการพิจารณาถึงความสูญเสียชนิดนี้สามารถศึกษาโดยใช้สัมประสิทธิ์การไหล (Flow Coefficient) ซึ่งสมการสำหรับความสูญเสียหัว (Head Loss) แสดงในเทอมสัมประสิทธิ์ความเร็ว (Velocity Coefficient) C คือ

$$h_L = \left(\frac{1}{C^2} - 1 \right) \frac{V^2}{2g}$$

- เมื่อ h_L = ความสูญเสียหัวแรงดันเนื่องจากความเสียดทานในหัวฉีดชนิดรูป
มีหน่วยเป็นเมตร (m) ของน้ำ
- V = ความเร็วของการไหล มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s)
- C = สัมประสิทธิ์ความเร็ว
- g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาทีกำลังสอง (m/s^2)

เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงการสูญเสียหัวความดันที่เกิดขึ้นในหัวฉีดชนิดรูป โดยการลดพื้นที่หน้าตัดของการไหล การออกแบบหัวฉีดชนิดรูปโดยคำนึงถึงการลดขนาดโดยทันทีทันใด แต่จะกระทำโดยการค่อย ๆ ลดขนาดจากเส้นผ่านศูนย์กลางหนึ่งไปเป็นอีกเส้นผ่านศูนย์กลางหนึ่งโดยผ่านตัวเชื่อมที่มีผิวโค้งเรียบไปตามแนวแกน ซึ่งมีรูปเหมือนกรวยผิวภายในเรียบ โดยใช้วิธีการขึ้นรูปด้วยเครื่องจักรกล ดังภาพประกอบ 20

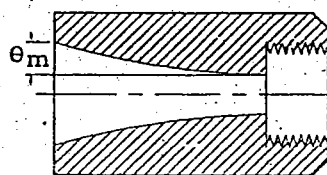


ภาพประกอบ 20 การออกแบบหัวฉีดชนิดรูตีบ

การออกแบบหัวฉีดขับในลักษณะนี้จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานที่เกิดขึ้นค่อนข้างต่ำ

มูเอลเลอร์ ได้ศึกษาโดยการทดลองความแตกต่างในรูปแบบของหัวฉีดขับ 3 ชนิดที่ใช้กับเครื่องสูบลม พบว่า รูปแบบของหัวฉีดขับที่มีลักษณะเรียวมีรูปเหมือนกรวย ค่าการสูญเสียหัวความดันที่เกิดขึ้นมีค่าคงที่โดยสัมพันธ์กับหัวความเร็ว (Mueller. 1964 : 96) และค่ามุม Semicone ของหัวฉีดขับที่ให้ไว้โดย เรดดี และคาร์ ควรจะเป็น 8 - 10 องศา (Reddy and Kar. 1968 : 127)

เพื่อต้องการเร่งให้อัตราความเร็วในการไหลสูงขึ้น ผู้วิจัยได้ประกอบส่วนของหัวฉีดที่มีลักษณะบานอกเข้าไปกับปากทางออกของหัวฉีดชนิดรูตีบ หัวฉีดลักษณะใหม่ที่ประกอบด้วยท่อนแรกทางไหลตีบลง ต่อด้วยท่อนที่สองที่ทางไหลบานกว้างออกไปเช่นนี้เรียกว่า หัวฉีดชนิดปากผาย ซึ่ง สุนทร สตาภรณ์ (2537 : 143) เรียกหัวฉีดชนิดนี้ว่า หัวฉีดชนิดคอนเวอร์จิงไดเวอร์จิง (Converging - Diverging) หรือเรียกสั้น ๆ ว่า หัวฉีด ซี - ดี (C - D Nozzle) ดังภาพประกอบ 21



ภาพประกอบ 21 การออกแบบหัวฉีดชนิดปากผาย

7.3 ความสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในห้องดูด ความสูญเสียในห้องดูด ซึ่งนำอัตราส่วนความเร็ว (Velocity Ratio) หรือ S เข้ามาเกี่ยวข้อง เขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$h_L = S^2 \frac{V_m^2}{2g}$$

- เมื่อ h_L = ความสูญเสียหัวแรงดันเนื่องจากความเสียดทานในห้องดูด
มีหน่วยเป็นเมตร (m) ของน้ำ
- $S = \frac{V_s}{V_m}$ คืออัตราส่วนความเร็ว
- V_m = ความเร็วในท่อขับ มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s)
- V_s = ความเร็วในท่อดูด มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s)
- g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาทีกำลังสอง (m/s^2)

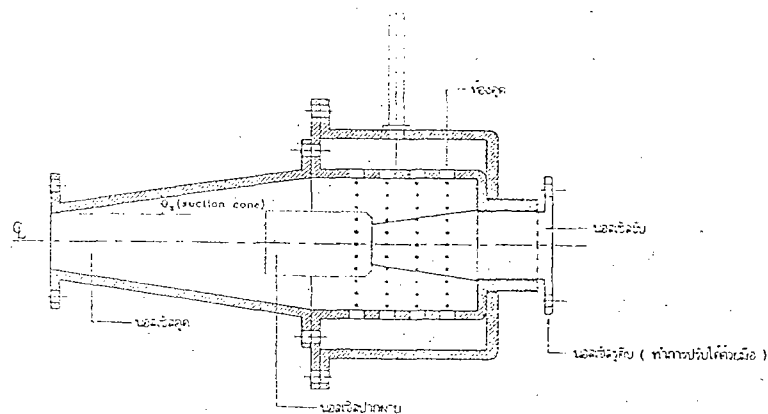
เพื่อที่จะลดความสูญเสียความเสียดทานจากการไหลของของไหลภายในห้องดูด รูปแบบทางเข้าห้องผสมที่เป็นส่วนหนึ่งของห้องดูดนั้น ลักษณะของมุม Suction Cone ถูกกำหนดโดยลักษณะภายนอกของหัวฉีดขับ และระยะหัวฉีดขับต่อทางเข้าของห้องผสมที่อยู่ภายในห้องดูดก็จะมีผลต่อการสูญเสียหัวความดัน

การออกแบบห้องดูดและระยะหัวฉีดขับต่อทางเข้าของห้องผสมต้องพิจารณาประเด็นที่เกิดขึ้นภายในห้องดูด คือสัมประสิทธิ์ความเร็วที่สูงที่สุดที่ต้องค้นหาและการขนานของลำของไหลที่ออกจากหัวฉีดขับเข้าสู่ทางเข้าห้องผสม โดยการไหลของของไหลต้องสม่ำเสมอไม่เปลี่ยนแปลง

จากการศึกษาของ สชู และฟาโซ (Mueller, N.H.G. 1964 : 105 ; citing Schulz and Fasol. 1958. *Wasserstrahlpumpen Zur Förderung von Flüssigkeiten.*) ลงความเห็นจากการทดลองทางเข้าห้องผสมที่มีลักษณะทางเข้าเป็นรูปปากกระฆัง ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะทางเข้าห้องผสมที่ไม่มีลักษณะทางเข้าเป็นรูปปากกระฆัง

ขณะที่ ครอลล์ กล่าวว่ารูปแบบของทางเข้าสำหรับห้องผสมมีลักษณะเป็นรูปปากกระฆังผิวภายในเรียบจะดีที่สุด และถ้าทางเข้ามีลักษณะที่เรียวรวมอยู่ด้วยแล้วมุมทั้งหมดควรจะมีมากกว่า 20 องศา (Kroll. 1947 : 22)

โดยที่ ฮิวดา (Mueller, N.H.G. 1964 : 106 ; citing Ueda. 1954. *Study on the Water Jet Pump.* p 25) ได้ศึกษาทางเข้าที่มีลักษณะเรียวและลงความเห็น ว่า มุมที่ 24 - 56 องศา เป็นมุมที่มีความแตกต่างต่อการแปรผันในการทดสอบที่ไม่แตกต่างกัน ดังภาพประกอบ 22

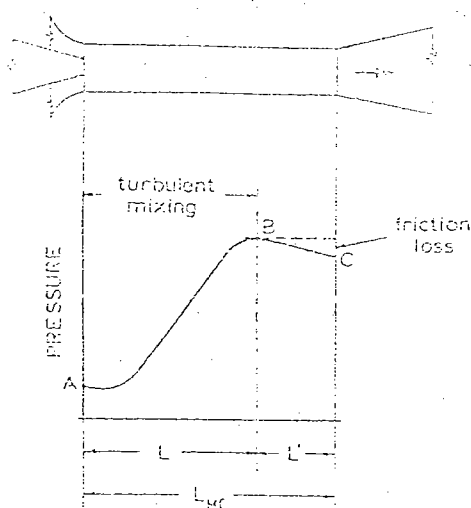


ภาพประกอบ 22 การออกแบบมุม Suction Cone ของทางเข้าห้องผสมที่ถูกกำหนดโดย ลักษณะภายนอกของหัวฉีดขับ ณ ที่ศูนย์กลางภายในห้องดูด

7.4 ความสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในห้องผสม ห้องผสมเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีดของไหลหลักเข้าไปผ่านหัวฉีดขับ และของไหลที่สองเข้าผ่านทางเข้าของห้องผสมของไหลที่สองทำให้ลำน้ำหลักไหลเต็มเป็นวงกลม และการผสมก็เกิดขึ้น การผสมกันของลำของไหลนั้นเสร็จสิ้นโดยการเพิ่มความดันสถิตย

โกสไลน์ และโอไบร (Mueller. N.H.G. 1964 : 90 - 92 ; citing Gosline and O'Brien. 1934. *The Water Jet Pump*. p 167) ได้ศึกษาความดันที่เกิดขึ้นในห้องผสม และพบว่า ความดันในห้องผสมแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ความดันที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการผสมของสองลำของไหลและความดันที่ลดลงเนื่องจากแรงเสียดทาน กล่าวคือ

ในตอนแรกความดันสถิตยเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากการผสมกันของลำของไหลเพิ่มความดันสถิตย ในอัตราซึ่งเกินความสูญเสียใด ๆ ที่เกิดขึ้น เมื่อมาถึงจุด B ความสูญเสียจะเกิดการเพิ่มความดันสถิตย เส้นโค้งจะตกลงมา ดังภาพประกอบ 23

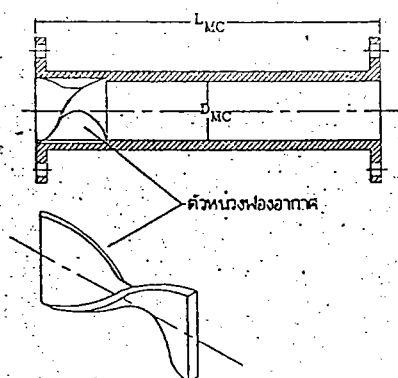


ภาพประกอบ 23 ความดันในห้องผสม (Mueller. 1964 : 91)

ความยาวของห้องผสมที่ดีจะสามารถหาค่าได้ โดยจะเป็นค่าซึ่งความสูญเสียเท่ากับการเพิ่มขึ้นของความดันจากการผสม

ถ้าความยาวเกินค่าที่ดีที่สุดห้องผสมสามารถได้รับการแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ความเร็วตรงทางออกไม่มีความเป็นลักษณะเดียวกัน และอีกส่วนหนึ่งคือ ส่วนที่ความเร็วตรงทางออกมีความเป็นลักษณะเดียวกัน หรืออีกนัยหนึ่งคือการแยกห้องผสมออกเป็น 2 ส่วน เป็นสิ่งจำเป็นเมื่อความยาวเกินค่าที่ดีที่สุด (Mueller. 1964 : 90 - 92)

ดังนั้นรูปร่างห้องผสมที่มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบกรวยเติมอากาศคือ ห้องผสมซึ่งมีผนังขนานกันและติดตั้งตัวเกลียวผสมไว้ภายใน ซึ่งก็คือห้องผสมที่มีความดันคงที่นั่นเอง ดังภาพประกอบ 24



ภาพประกอบ 24 การออกแบบห้องผสม

7.5 ความสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในดีฟฟิวเซอร์ ดีฟฟิวเซอร์เป็นสิ่งที่รวมอยู่ในกรวยเติมอากาศ ความสูญเสียที่เกิดขึ้นโดยดีฟฟิวเซอร์ เขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

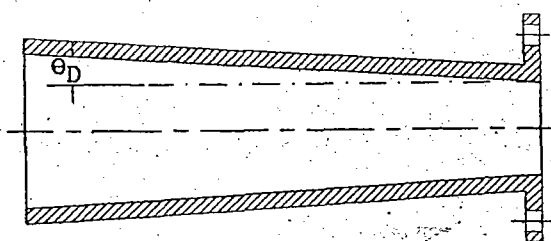
$$h_L = (1 - n_D) (1 - n_D^2) \frac{V^2}{2g}$$

- เมื่อ h_L = ความสูญเสียหัวแรงดันเนื่องจากความเสียดทานในดีฟฟิวเซอร์ มีหน่วยเป็นเมตร (m) ของน้ำ
 n_D = อัตราส่วนพื้นที่ของดีฟฟิวเซอร์
 V = ความเร็วของการไหล มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s)
 g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาทีกำลังสอง (m/s^2)

เพื่อที่จะลดความสูญเสียให้น้อยลงด้วยการลดความเร็วของของไหลลงที่ละน้อยในขณะที่ยังคงไหลผ่านดีฟฟิวเซอร์

การออกแบบกระทำโดยให้ผิวของดีฟฟิวเซอร์เป็นส่วนโค้งของวงกลมขนานไปตามแนวของแกนในลักษณะของกรวยรูปตัดผิวภายในเรียบโดยวิธีการขึ้นรูปด้วยเครื่องจักรกล

จากการพิจารณาการออกแบบของ มูเอลเลอร์ เพื่อที่จะให้ห้องผสมมีความยาวเพียงพอและเหมาะสมต่อการผสมของลำของไหลทั้งสอง และเกิดความสูญเสียความเสียดทานน้อยที่สุดในห้องผสมนั้น คือความยาวของห้องผสมควรจะเป็น 7.15 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางและมุม 5 องศา สำหรับการมีดีฟฟิวเซอร์รวมอยู่ด้วย (Mueller. 1964 : 111) และมุม 4 - 10 องศา จากคำแนะนำของครอลล์ (Kroll. 1947 : 22) ดังภาพประกอบ 25



ภาพประกอบ 25 การออกแบบดีฟฟิวเซอร์

ประสิทธิภาพจะเปลี่ยนไปกับการประยุกต์ใช้งาน สำหรับการประยุกต์ใช้งานที่เกิดขึ้นกับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีดนั้นเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$\eta = \frac{Q_s (P_3 - P_2)}{Q_m (P_1 - P_3)}$$

- เมื่อ η = ประสิทธิภาพ
- Q_s = อัตราการเหวี่ยงน้ำอากาศที่ท่อทางดูด
มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (m^3/sec)
- Q_m = อัตราการไหลที่ท่อขับ มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (m^3/sec)
- $P_1 P_2 P_3$ = วัดเป็นแท่งความสูงของน้ำ มีหน่วยเป็นเมตร (m)
ของน้ำ

จากสูตรจะรวมความสูญเสียทั้งหมดในกรวยเติมอากาศ ซึ่งจะถูกเปลี่ยนโดยแสดงค่าความดัน P_1 P_2 และ P_3 ในลักษณะของการสูญเสียหัวแรงดัน (Head Loss) เนื่องจากความเสียดทานในส่วนต่าง ๆ ของกรวยเติมอากาศ ความสูญเสียทั้งหมดสามารถแสดงได้ในเทอมของความเร็วของลำน้ำขับ

ดังนั้นสรุปได้ว่า ประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีดขึ้นอยู่กับอัตราส่วนอัตราการไหล และอัตราส่วนของความดัน

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยออกแบบสร้างกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด เป็นการวิจัยเชิงทดลอง ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. วัสดุเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบสร้างกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด
2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบเครื่องเติมอากาศ
3. สถานที่และระยะเวลาในการวิจัย
4. การดำเนินการวิจัย

1. วัสดุเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบสร้างกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด

1.1 วัสดุที่ผู้วิจัยนำมาทำการขึ้นรูปเป็นส่วนประกอบของกรวยเติมอากาศประกอบด้วย ส่วนของหัวฉีดขับ ได้แก่ หัวฉีดชนิดรูตีบ หัวฉีดชนิดปากผาย ส่วนของห้องดูดและครอบ ห้องดูดส่วนของห้องผสม ส่วนของดีฟฟิวเซอร์ ใช้ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปของโพลีเอไมด์ ชนิดแท่งกลมตัน

1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- | | |
|-----------------------------------|-----------------|
| 1.2.1 เครื่องกลึงโลหะพร้อมอุปกรณ์ | จำนวน 1 เครื่อง |
| 1.2.2 เครื่องเจาะตັงพื้น | จำนวน 1 เครื่อง |
| 1.2.3 เครื่องเลื่อยกล | จำนวน 1 เครื่อง |

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบเครื่องเติมอากาศ

2.1 เครื่องมือวัดความเร็วลม (Annemometer) รุ่น : DA - 42 มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที

2.2 เครื่องมือวัดความขุ่น รุ่น 2100 p ของ HACH

2.3 มัลติมิเตอร์ (Multi Meter)

2.4 ดีไอมิเตอร์ (DO Meter)

2.5 มานอมิเตอร์ (Manometer)

2.6 บ่อทดสอบ กว้าง 3.54 เมตร ยาว 4.07 เมตร ตรงกลางบ่อทดสอบปล่อยเป็นพื้นที่ว่างไม่ใช้สอย ระดับน้ำในบ่อทดสอบลึก 0.55 เมตร

ตัวอย่างน้ำและน้ำยาเคมี

1. น้ำประปาที่จะทำการทดลอง 6 ลูกบาศก์เมตร
2. โซเดียมซัลไฟท์ (Na_2SO_3) จำนวนที่ใช้ขึ้นอยู่กับค่าของความเข้มข้นของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ โดยที่โซเดียมซัลไฟท์ 7.9 มิลลิกรัม จำกัดหรือลดปริมาณ DO ได้ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
3. โคบอลท์คลอไรด์ (CoCl_2) จำนวนที่ใช้ 9 กรัม

3. สถานที่และระยะเวลาในการวิจัย

สถานที่สำหรับการทดลองการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้ห้องปฏิบัติการของอาคารวิทยาศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์ (บางเขน) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เป็นสถานที่ทำการทดสอบเครื่องเติมอากาศ

ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย ตั้งแต่เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2541 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2542 เป็นเวลา 9 เดือน

4. การดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แบ่งกระบวนการวิจัยออกเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

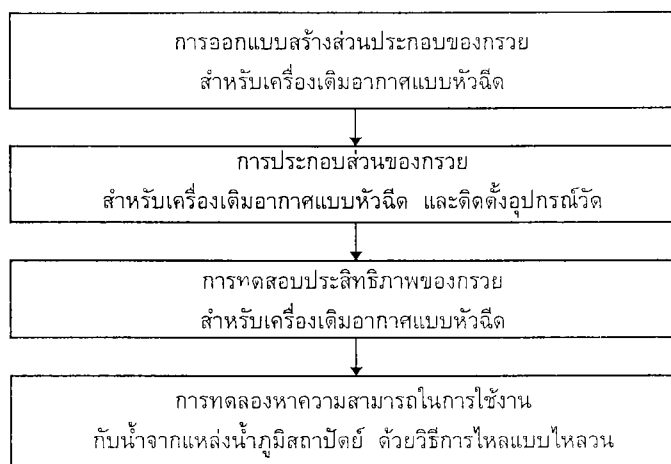
- 4.1 การออกแบบสร้างส่วนประกอบของกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด
- 4.2 การประกอบส่วนของกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด และติดตั้ง

อุปกรณ์วัด

- 4.3 การทดสอบประสิทธิภาพของกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด
- 4.4 การทดลองหาความสามารถในการใช้งานกับน้ำจากงานภูมิสถาปัตย์

จากการดำเนินการวิจัยได้สร้างขั้นตอนกระบวนการวิจัย 4 ขั้นตอน ดังภาพ

ภาพประกอบ 26



ภาพประกอบ 26 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. การออกแบบสร้างกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด

1.1 การออกแบบสร้างกรวยเติมอากาศในครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้วัสดุชื่อ โพลีเอไมด์ จัดอยู่ในพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก เป็นชนิดแท่งกลมตัน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ตั้งแต่ 10 - 300 มิลลิเมตร ยาว 1,000 มิลลิเมตร บริษัทสยามคาสท์ในลอน จำกัด เป็นผู้แทนจำหน่ายโดยใช้ชื่อการค้าว่า Superlene - nylon 6 มาทำการขึ้นรูปเป็นส่วนประกอบของกรวยเติมอากาศด้วยเครื่องจักรกล เช่น เครื่องกลึง โดยให้ผิวภายในเรียบสม่ำเสมอ

ดังนั้นการนำวัสดุมาขึ้นรูปโดยสัมพันธ์กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุที่มีอยู่ต้องศึกษาจากงานออกแบบของผู้วิจัย เพื่อนำวัสดุมาใช้เพื่อให้เกิดการสูญเสียน้อยที่สุด งานออกแบบส่วนประกอบกรวยเติมอากาศผู้วิจัยนำวัสดุโพลีเอไมด์มาใช้เป็นส่วนประกอบดังนี้

1.1.1 ท่อขับ (D_m) ความจำเป็นที่ต้องใช้ท่อขับ ผู้วิจัยได้ออกแบบ หน้าจานไว้ที่ปลายทั้งสองด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ภายในท่อขับ 40 มิลลิเมตร ซึ่งเท่ากับทางออกของเครื่องสูบลมและท่อทางเข้าหัวฉีดขับ

1.1.2 หัวฉีดขับ (d_m) ประกอบด้วยส่วนของหัวฉีดชนิดรูตีบ กลึงเป็นรูปกรวยมุม semicone 10 องศา เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกของหัวฉีดชนิดรูตีบ $\approx 19 - 21$ มิลลิเมตร ตรงปลายของหัวฉีดชนิดรูตีบทำเกลียวเพื่อประกอบส่วนของหัวฉีดชนิดปากผายที่ทางเข้าของหัวฉีดชนิดรูตีบได้รับการออกแบบให้มีหน้าจานรวมอยู่ด้วย เพื่อทำการประกอบกับท่อขับหรือเครื่องสูบลมได้โดยตรง ถัดจากหน้าจานของหัวฉีดชนิดรูตีบได้ออกแบบเกลียวนอกเพื่อทำการปรับค่าระยะห่างของหัวฉีดขับ

1.1.3 ห้องดูด ใช้เส้นผ่านศูนย์กลางเดียวกันกับทางเข้าห้องผสม และทำการเจาะรูรอบห้องดูด จากนั้นจะมีตัวครอบห้องดูดอีกชั้นหนึ่งที่ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่โตกว่า ท่อดูดอากาศสามารถติดตั้งบนครอบห้องดูดนี้ได้

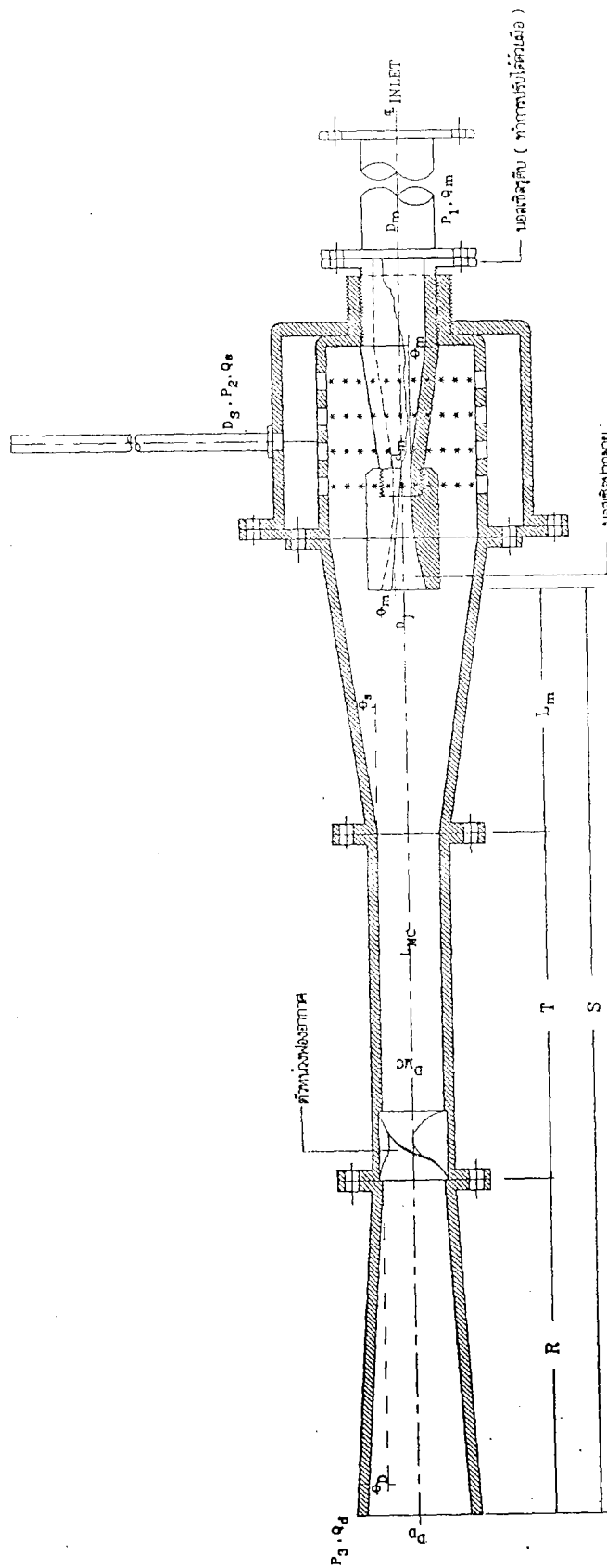
1.1.4 ท่อดูด อาจใช้วัสดุ พี. วี. ซี แทนได้ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อดูด 12 มิลลิเมตร ยาวช่วงละ 680 มิลลิเมตร

1.1.5 ห้องผสม ติดยึดกับทางเข้าห้องผสม ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของห้องดูด และส่วนอีกข้างหนึ่งจะยึดกับดิฟฟิวเซอร์ ออกแบบโดยการใช้หน้างานเพื่อปรับระยะความยาวของห้องผสม ซึ่งชั้นส่วนที่จะใช้ทำการเพิ่มความยาวได้ออกแบบให้มีความยาวช่วงละ 100 มิลลิเมตร ประกอบด้วยหน้างานติดตาย 2 ด้าน เส้นผ่านศูนย์กลางห้องผสม 50 มิลลิเมตร ยาวโดยรวม 500 มิลลิเมตร และตัวเกลียวผสมสามารถติดตั้งภายในห้องผสมได้

1.1.6 ดิฟฟิวเซอร์ ออกแบบให้มีหน้างานด้านเดียวเพื่อยึดกับส่วนของห้องผสม ลักษณะเป็นรูปกรวยตัดมุม semicone ของดิฟฟิวเซอร์ $\approx 2.5 - 3$

ส่วนอุปกรณ์สำเร็จรูปที่นำมาประกอบเพื่อให้พลังงานแก่ของไหลเป็นเครื่องสูบน้ำ (submersible pump) ที่มีมอเตอร์อยู่ในตัวเรือนเดียวกัน ขนาดท่อทางออก 40 มิลลิเมตร กำลังที่ 700 วัตต์ แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ 1 เฟส 50 เฮิร์ตซ์ กระแสไฟฟ้าที่ 6 แอมแปร์ อัตราการไหลที่ 21 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง หัวแรงดันวัดเป็นแท่งความสูงของน้ำมีหน่วยเป็นเมตร (m) ที่ 15 เมตรของน้ำ

การออกแบบสร้างกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด ซึ่งใช้เครื่องสูบน้ำเป็นตัวขับเคลื่อนของไหลขึ้นอยู่กับลักษณะที่ทางเข้าของหัวฉีดขับ ดังนั้นอัตราส่วนของกรวยเติมอากาศได้พิจารณาค่าที่เกิดขึ้นจากผู้วิจัยหลายท่านนำมาประกอบกันขึ้นเป็นส่วนประกอบของกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด ดังภาพประกอบ 27



CONICAL AERATOR

ภาพประกอบ 27 มีดียงค์ประกอบชุดกรวยเติมอากาศ

SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY	
DESIGN BY: ศว.วิฑูรย์ ทรัพย์งาม	INDUSTRIAL
DRAWN BY: ศว.วิฑูรย์ ทรัพย์งาม	EDUCATION
APPROVED BY: พ.3 วิฑูรย์ ทรัพย์งาม	PROTOTYPE
APPROVED BY:	
DATE: 26/7/41	

1.2 การออกแบบวิธีเติมอากาศโดยวิธีการไหลวน การเติมอากาศให้น้ำทั่ว ปริมาณน้ำทั้งหมดด้วยการควบคุมให้น้ำทั้งหมดไหลผ่านกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบ หัวฉีดที่ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบสร้างขึ้น ปริมาณน้ำทั้งหมดก็就会被เติมอากาศอย่างทั่วถึง วิธีบังคับนี้ทำโดยสร้างประตูกั้นน้ำที่ตอนใดตอนหนึ่งของบ่อทดสอบของทางน้ำไหลตรง ตำแหน่งที่ติดตั้งกรวยสำหรับเติมอากาศ

ดังนั้นผู้วิจัยได้สร้างรูปแบบของบ่อทดสอบสำหรับใช้เติมอากาศในห้องปฏิบัติการ ด้วยการก่ออิฐฉาบปูนผิวภายในเรียบ มีตัวกั้นตามยาวของบ่อด้วยการก่ออิฐเพื่อแบ่งเป็น ช่องน้ำไหล บ่อทดสอบมีแผ่นปิดกั้นทำเป็นประตูน้ำติดกับพื้นบ่อทดสอบทำการออกแบบ ช่องสำหรับติดตั้งกรวยเติมอากาศ

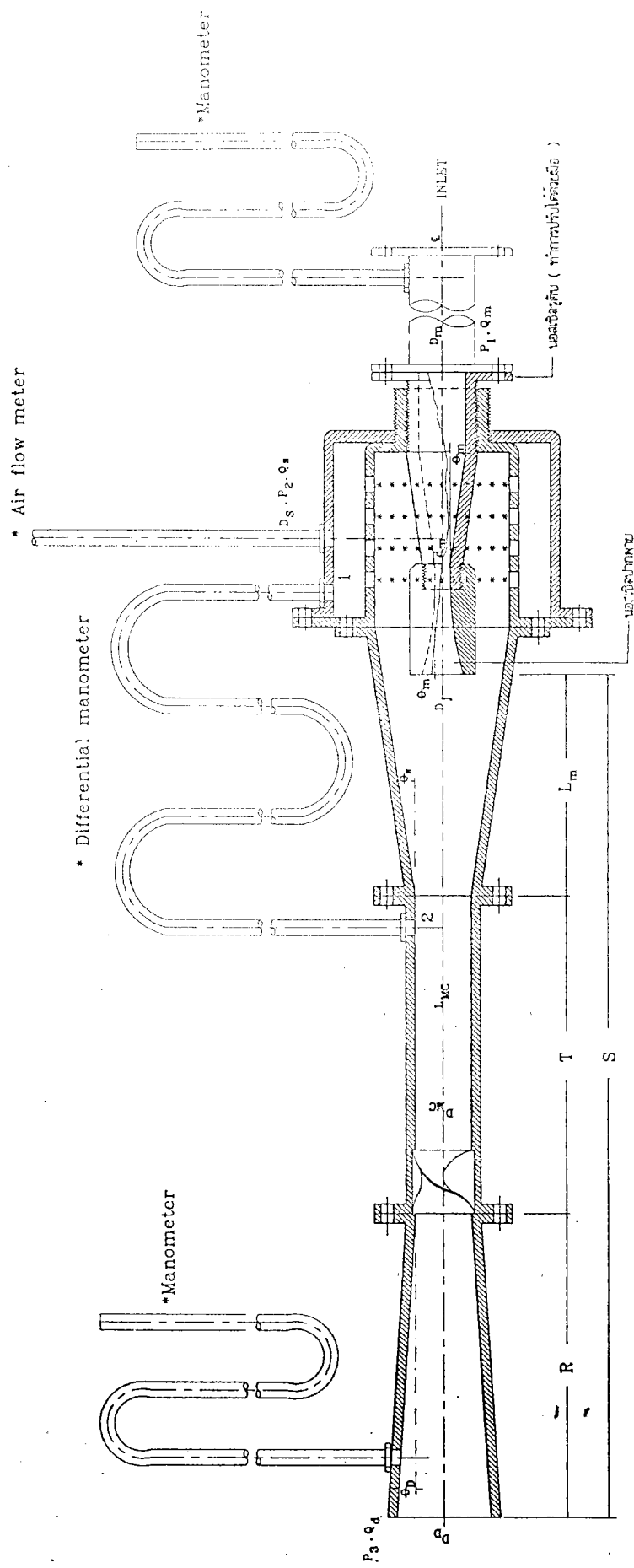
2. ส่วนประกอบของกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด และติดตั้ง อุปกรณ์วัด

การดำเนินการประกอบส่วนของกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด ในการวิจัยครั้งนี้ โดยศึกษาจากแบบที่ผู้วิจัยได้ออกแบบไว้ก็สามารถประกอบได้ โดยใช้สลักเกลียว ส่วนการติดตั้งอุปกรณ์วัดเพื่อให้สอดคล้องกับอุปกรณ์แต่ละตัวกระทำได้ดังนี้

2.1 เครื่องมือวัดอัตราการไหลของอากาศติดตั้งตรงปลายของท่อดูด เพื่อหา ปริมาณการดูดอากาศของกรวยเติมอากาศ

2.2 มานอมิเตอร์ โดยแบ่งเป็นดิฟเฟอเรนเชียลมานอมิเตอร์ ใช้วัดความแตกต่างความดันระหว่างจุดสองจุด ในที่นี้คือส่วนของห้องดูดและห้องผสมเพื่อหาตำแหน่งของการเหนี่ยวนำอากาศและติดตั้งท่อดูดและมานอมิเตอร์สำหรับใช้วัดหัวแรงดันที่เกิดขึ้นใน ส่วนของท่อขับและดิฟฟิวเซอร์

ดังนั้นการติดตั้งเครื่องมือวัดบนกรวยเติมอากาศตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น แสดงได้ ดังภาพประกอบ 28



ภาพประกอบ 28 แสดงตำแหน่งเครื่องมือวัดแบบกระจายเต็มอากาศ

SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY	
DESIGN BY:	ศรวิทย์ วัฒนศิริ
DRAWN BY:	ศรวิทย์ วัฒนศิริ
APPROVED BY:	ศรวิทย์ วัฒนศิริ
APPROVED BY:	ศรวิทย์ วัฒนศิริ
DATE:	00/00/41
SCALE:	FULL SCALE

3. การทดสอบประสิทธิภาพของกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้แบ่งการดำเนินการออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

3.1 การศึกษาประสิทธิภาพของกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีดในสภาวะมาตรฐานซึ่งมีขั้นตอนดำเนินการดังต่อไปนี้

3.1.1 นำชุดอุปกรณ์เครื่องเติมอากาศติดตั้งและทำการทดลองเดินเครื่องในบ่อทดสอบโดยตอนแรกติดตั้งหัวฉีดชนิดรูปทรงแฉล และตัวเกลียวผสมในห้องผสมโดยใช้ค่าที่ได้ออกแบบไว้

3.1.2 ทำการปรับระยะหัวฉีดระดับประมาณ 12 ค่า คือ -20 -10 0 10 20 30 42 50 60 70 80 และ 90 มิลลิเมตร ของความยาวห้องผสมที่ 300 400 และ 500 มิลลิเมตร เพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมของหัวฉีดระดับต่อความยาวห้องผสมของกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีดที่สร้างขึ้น

3.1.3 ในขณะที่ทำการทดลองเดินเครื่องเติมอากาศและทำการปรับระยะหัวฉีดและเปลี่ยนค่าความยาวของห้องผสม

1. บันทึกค่าอัตราการไหลของอากาศที่ถูกเหนี่ยวนำ (Q_s)
2. วัดค่าความดันของน้ำที่ไหลเข้าหัวฉีด (P_1) วัดค่าความดันที่ห้องดูดอากาศ (P_2) วัดค่าความดันของน้ำที่ทางออกจากเครื่องเติมอากาศแบบกรวยเติมอากาศ (P_3)

3.2 พิจารณาค่าที่เหมาะสมที่สุดไปสู่สภาวะการทดสอบ เพื่อศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทออกซิเจนลงในน้ำ

สภาวะการทดสอบ

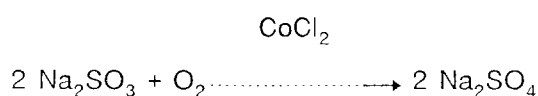
เป็นไปตามเกณฑ์การทดสอบเครื่องเติมอากาศระบบเครื่องมีอกลโดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ติดตั้งเครื่องเติมอากาศลงในบ่อทดสอบ (test tank) แล้วเดินเครื่องเติมอากาศเพื่อให้ความเข้มข้นของออกซิเจนของน้ำในบ่อมีค่าอิ่มตัว เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยพิจารณาว่าสามารถเติมอากาศลงในน้ำให้ได้ DO ถึงร้อยละ 90 ภายในเวลา 45 นาที

2. วัดค่าความเข้มข้นของออกซิเจนของน้ำในบ่อทดสอบ โดยใช้เครื่องดีโอมิเตอร์ และนำค่าที่ได้จากหน้าปัดแสดงผลไปเทียบเคียงค่าที่ได้กับค่ามาตรฐาน

3. เติมสารประกอบโคบอลท์คลอไรด์ ($CoCl_2$) ลงในน้ำในบ่อจนความเข้มข้นของโคบอลท์คลอไรด์เป็น 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการทดสอบประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนในครั้งนี้ต้องใช้โคบอลท์คลอไรด์ 9 กรัม

4. เตรียมน้ำยาโซเดียมซัลไฟท์ (Na_2SO_3) ในถังเล็กอีกใบหนึ่ง ให้ปริมาณโซเดียมซัลไฟท์เท่ากับ 1.25 ถึง 1.5 เท่าของปริมาณที่ต้องใช้ตามทฤษฎีในการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในน้ำ โดยมีโคบอลต์คลอไรด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังสมการ



5. หยุดเครื่องเติมอากาศและระบาย Na_2SO_3 ที่เตรียมไว้ลงในบ่อทดสอบโดยระบายลงหลาย ๆ จุดรอบถึงทดสอบ

6. เดินเครื่องเติมอากาศนานประมาณ 10 นาที เพื่อให้ น้ำในบ่อทดสอบผสมกับน้ำยา Na_2SO_3 ให้ทั่วถึง

7. หยุดเครื่องเติมอากาศนานประมาณ 5 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาระหว่าง Na_2SO_3 กับ O_2 เกิดขึ้นได้สมบูรณ์ วัดความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำจนมีค่าเท่ากับศูนย์

8. เดินเครื่องเติมอากาศแล้ววัดค่าดีไอ ทุกระยะ 5 นาที ที่จุด 3/4 ของระยะห่างระหว่างเครื่องเติมอากาศกับผนังบ่อทดสอบ

8.1 ระยะ 10 เซนติเมตรใต้ผิวน้ำ

8.2 กึ่งกลางความลึก

8.3 ระยะ 10 เซนติเมตรจากก้นบ่อทดสอบ

9. ได้ค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำโดยใช้เครื่องดีไอมิเตอร์ แล้วนำค่าความเข้มข้นของออกซิเจนไปลบจากค่าความเข้มข้นอิ่มตัว

10. พล็อตค่าความขาดแคลนออกซิเจนกับเวลาในกระดาษกราฟแบบ semi - log จะได้เส้นตรง

11. ค่าความชัน (slope) ของเส้นตรงที่ได้คือ ค่า $K_L a$ ซึ่งอาจคำนวณได้จากสมการ

$$K_L a = \frac{(\log D_1 - \log D_2) (2.303) (60)}{t_2 - t_1}$$

เมื่อ $D_1 = (C_s - C)$ ที่ t_1 และ $D_2 = (C_s - C)$ ที่ t_2

t_1, t_2 = เวลาใช้หน่วยนาที

2.303 = การเปลี่ยนค่า ลอการิทึมฐาน e เป็นลอการิทึมฐานสิบ

60 = การเปลี่ยนหน่วยเวลาจากนาทีเป็นชั่วโมง

12. เปลี่ยนค่า K_La ที่อุณหภูมิทำการทดลองไปเป็นค่าที่สภาวะมาตรฐาน เขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$(K_La)_s = (K_La)_t (1.024)^{(t - t_s)}$$

เมื่อ $(K_La)_s$ = ค่า K_La ที่อุณหภูมิมาตรฐาน
 $(K_La)_t$ = ค่า K_La ที่อุณหภูมิของน้ำขณะทำการทดลอง
 t_s = อุณหภูมิมาตรฐานที่ 20 องศาเซลเซียส
 t = อุณหภูมิของน้ำขณะทำการทดลอง

13. คำนวณหาความสามารถในการเติมออกซิเจน (Oxygenation Capacity, OC) ที่สภาวะทำการทดสอบและสภาวะมาตรฐาน เขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$OC = \frac{K_La(h^{-1}) \times C_{sc} (mg/l) \times V(m^3)}{1000}$$

เมื่อ OC = ความสามารถในการเติมออกซิเจนของเครื่องเติมอากาศแบบกรวยเติมอากาศมีหน่วยเป็นกิโลกรัมออกซิเจนต่อชั่วโมง
 $K_La(h^{-1})$ = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจนลงไปในน้ำที่สภาวะทำการทดสอบและสภาวะมาตรฐานต่อหน่วยเวลาใช้หน่วยชั่วโมง
 C_{sc} = ความเข้มข้นของก๊าซอิ่มตัวที่ระยะครึ่งหนึ่งของความลึกของถังทดสอบมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร
 V = ปริมาตรของน้ำในถังทดสอบใช้หน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (m^3)
 1000 = การเปลี่ยนหน่วยจากมิลลิกรัมต่อลิตรเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

14. คำนวณการใช้พลังงานของเครื่องเติมอากาศแบบกรวยเติมอากาศที่ใช้จริงทั้งหมด เขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$\text{Wire Horse Power (WHP)} = \frac{\text{Ampere} \times \text{Volts} \times \text{Power Factor}}{746}$$

และพลังงานที่ออกมาจากมอเตอร์ เขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$\text{Moter Horse Power (MHP)} = \text{WHP} \times \text{Moter Efficiency}$$

15. คำนวณประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจน (Oxygen Transfer Efficiency, OTE) ตามการวัดของพลังงานที่ใช้จริง เขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนเมื่อเทียบกับการใช้พลังงานจริง (OTE)}_R = \frac{\text{ความสามารถในการเติมออกซิเจนที่สภาวะมาตรฐาน}}{\text{พลังงานที่ใช้จริงทั้งหมด}}$$

และพลังงานจากมอเตอร์ เขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนเมื่อเทียบกับการใช้พลังงานจากมอเตอร์ (OTE)}_M = \frac{\text{ความสามารถในการเติมออกซิเจนที่สภาวะมาตรฐาน}}{\text{พลังงานที่ออกมาจากมอเตอร์}}$$

3.2.1 ทำการเปลี่ยนน้ำในบ่อทดสอบใหม่ ติดตั้งหัวฉีดชนิดปากผาย แล้วทำการทดลองตามข้อที่ 3.1.2 ถึง 3.2 ตามลำดับ

4. ศึกษาความสามารถของกรวยเครื่องเติมอากาศในการใช้งานโดยวิธีการไหลแบบต่อเนื่อง ซึ่งมีขั้นตอนดำเนินการดังต่อไปนี้

4.1 วัดอัตราการไหลของเครื่องสูบบubble โดยต่อท่อเข้ากับท่อส่ง (Discharged Pipe) ในตำแหน่งแนวราบและวัดความสูงของระดับพื้นไปยังศูนย์กลางของท่อในระหว่างการสูบนั่นทำการวัดความยาวจากทางออกของท่อไปยังจุดน้ำกระทบพื้นด้วยค่าทั้งสองนี้สามารถประมาณการไหลที่เกิดจากเครื่องสูบได้ (ศูนย์การศึกษานานาชาติ - กรุนด์ฟอส บริษัทกรุนด์ฟอส ประเทศไทย. 2531 : 28 - 29)

4.2 ทดลองเติมอากาศให้กับน้ำในแหล่งน้ำภูมิสถาปัตยกรรม เพื่อทดลองปรับปรุงน้ำเสียในแหล่งน้ำของงานภูมิสถาปัตยกรรมให้มีคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ความขุ่นและคุณภาพน้ำทางเคมี ได้แก่ ออกซิเจนละลาย ให้มีคุณภาพที่ดีขึ้นหลังจากการเติมอากาศ สูบน้ำจากแหล่งน้ำในงานภูมิสถาปัตยกรรมใส่ในบ่อเติมอากาศให้มีปริมาตร 3 ลูกบาศก์เมตร วัดค่าความขุ่นของน้ำด้วยเครื่องมือ Nephelometer และค่าออกซิเจนละลายน้ำก่อนและหลังเติมอากาศด้วยการไตเตรต แล้วเดินเครื่องเติมอากาศเป็นเวลา 30 นาที วัดค่าดีไอที่ได้จากการเติมอากาศภายใน 30 นาที จากนั้นปล่อยน้ำที่เติมอากาศนี้แล้วไว้ 1 คืน เพื่อให้ตก ตะกอน ตรวจดูความขุ่นของน้ำโดยใช้เครื่องมือวัดความขุ่น นำผลของค่าดีไอและค่าความขุ่นโดยเปรียบเทียบกับเมื่อยังไม่ได้เติมอากาศ ปฏิบัติแบบเดียวกันนี้อีก 2 ครั้ง

ดำเนินการตามขั้นตอนข้างต้นแต่ใช้เวลาเป็น 60 นาที 180 นาที ตามลำดับ แล้วเปรียบเทียบค่าออกซิเจนละลายน้ำ และค่าความขุ่นของการทดลองเมื่อใช้เวลาที่ 30 นาที 60 นาที และ 180 นาที

บทที่ 4

ผลการออกแบบสร้างกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด และผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การออกแบบสร้างกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีดเพื่อใช้ป้องกันการ
น้ำเสียของน้ำจากแหล่งภูมิสถาปัตยกรรม กรวยเติมอากาศที่ออกแบบสร้างแยกส่วนประกอบเป็น
ท่อขับ หัวฉีดชนิดรูปทรงแปดหน้า หัวฉีดชนิดปากผาย ห้องดูด ครอบห้องดูด ทางเข้าห้องผสม
ห้องผสม เกลียวผสม ดีฟฟิวเซอร์ และหน้าจานเกลียวเหล่านี้สร้างจากวัสดุที่เรียกว่า
พลาสติกวิศวกรรม (ยกเว้นเกลียวผสมที่สร้างจากอะคริลิก Acrylic) ชื่อโพลีเอไมด์ หรือ
ซูพีลีนไนลอนเบอร์ 6 ซึ่งเป็นชื่อที่ใช้ในทางการค้า ผลิตขึ้นภายในประเทศ น้ำหนักเบา
คงทนต่อการกัดกร่อนต่อสารเคมีที่ไม่ใช่กรดเข้มข้น เหล่านี้เป็นคุณสมบัติเด่นของวัสดุ
สำหรับการนำมาใช้ขึ้นรูปกรวยในงานวิจัย โดยการวิจัยได้จัดกระบวนการดำเนินการวิจัย
เป็น 4 ขั้นตอน และจะนำเสนอผลทั้ง 4 ขั้นตอนโดยลำดับดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ผลการออกแบบสร้างส่วนประกอบของกรวยสำหรับเครื่องเติม
อากาศแบบหัวฉีด

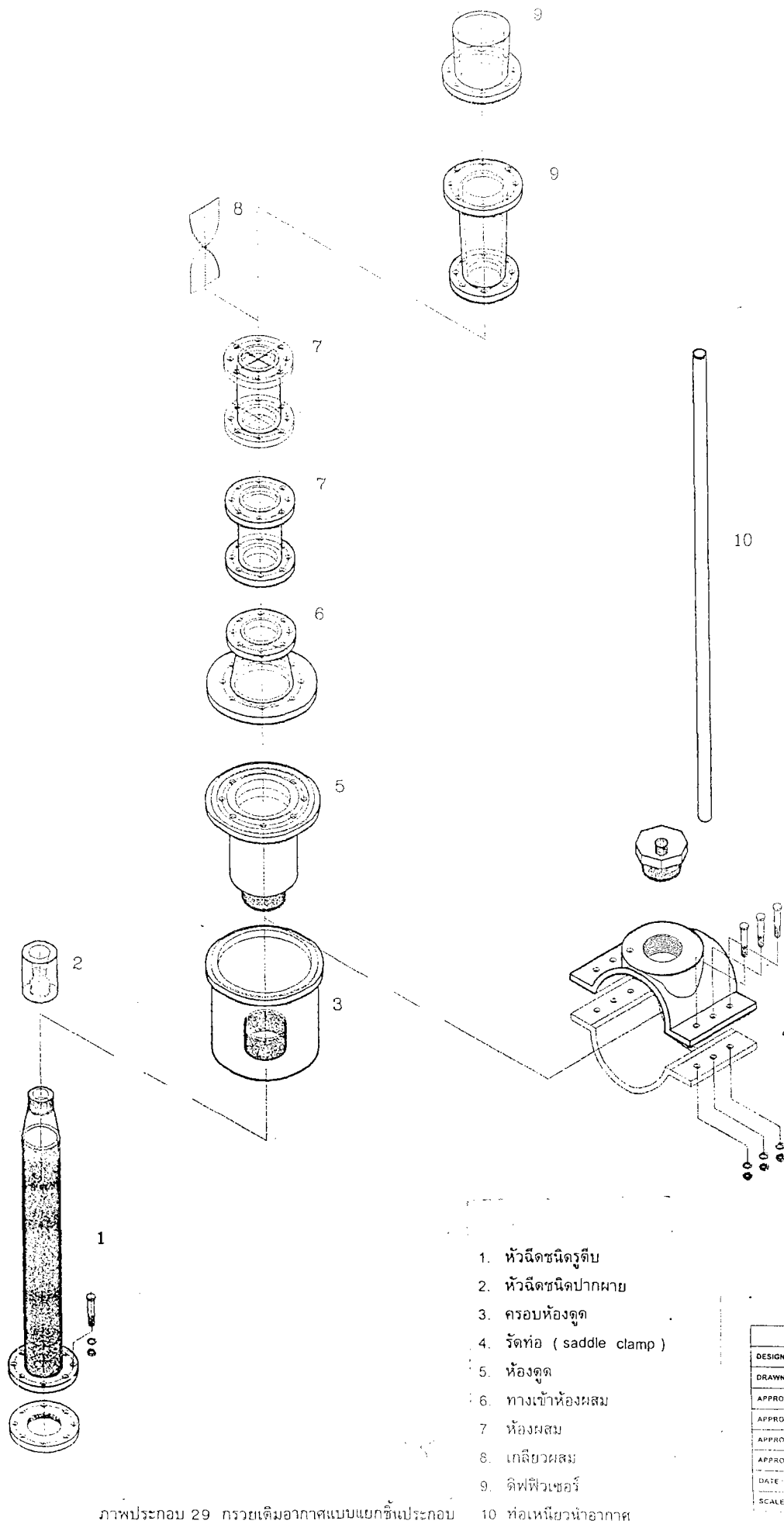
ขั้นตอนที่ 2 ผลการประกอบส่วนของกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบ
หัวฉีด

ขั้นตอนที่ 3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศ
แบบหัวฉีด

ขั้นตอนที่ 4 ผลการทดลองความสามารถในการใช้งานกับน้ำจากแหล่งภูมิ
สถาปัตยกรรมด้วยวิธีการไหลแบบไหลวน

ขั้นตอนที่ 1 ผลการออกแบบสร้างส่วนประกอบของกรวยสำหรับเครื่อง
เติมอากาศแบบหัวฉีด

กรวยเติมอากาศที่ผู้วิจัยออกแบบสร้างขึ้นนั้นเป็นแบบแยกชิ้นประกอบตาม
ลักษณะหน้าที่ใช้การใช้งาน ดังภาพประกอบ 29



1. หัวฉีดชนิดรูป
2. หัวฉีดชนิดปากผาย
3. ครอบห้องดูด
4. รััดท่อ (saddle clamp)
5. ห้องดูด
6. ทางเข้าห้องผสม
7. ห้องผสม
8. เกลียวผสม
9. ดิฟฟิวเซอร์
10. ท่อเหนียวน้ำอากาศ

ภาพประกอบ 29 กรวยเติมอากาศแบบแยกชิ้นประกอบ

SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY		
DESIGN BY :	ศรุตพร ภูมิรัตน์	INDUSTRIAL
DRAWN BY :	ศรุตพร ภูมิรัตน์	EDUCATION
APPROVED BY :	ดร.สุวิทย์ วัฒนชัย	
APPROVED BY :	ดร.สุวิทย์ วัฒนชัย	ASSEMBLY
APPROVED BY :	ดร.สุวิทย์ วัฒนชัย	CONICAL
DATE :	26/10/2561	AERATOR
SCALE :	1:1 (REAL SCALE)	

ผลการออกแบบหัวฉีด

เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกของหัวฉีดชนิดรูปตีบประมาณได้จากสูตร

$$Q_M = \frac{C_d \cdot \pi \cdot d_m^2 \cdot \sqrt{2g \cdot P_1}}{4}$$

เมื่อ Q_M คือ อัตราการไหลที่เครื่องสูงทำได้โดยรับมาจากป้ายบอกคุณลักษณะของเครื่อง ในที่นี้คือ 21 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า } \frac{21}{3600} &= \frac{0.9 \times \pi \times d_m^2 \times \sqrt{2 \times 9.81 \times 15}}{4} \\ \frac{21}{3600} &= 0.9 \times 0.785 \times d_m^2 \times 17.155 \\ 5.83 \times 10^{-3} &= 12.12 \, d^2 \\ d^2 &= \frac{5.83 \times 10^{-3}}{12.12} \\ &= 4.810231023 \times 10^{-4} \\ &= \sqrt{0.000481} \\ d^2 &= 0.0219 \text{ เมตร} \end{aligned}$$

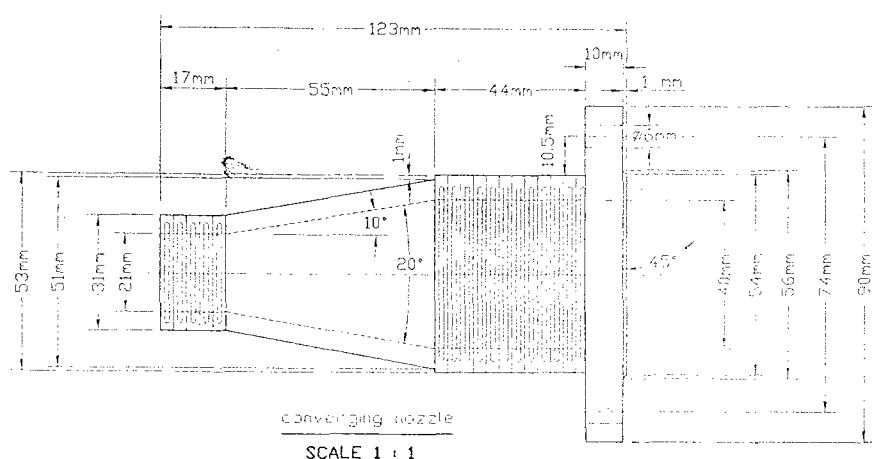
ทำเป็นมิลลิเมตรจะได้

$$\begin{aligned} d^2 &= 0.0219 \times 1000 \\ d_m^2 &= 21.9 \text{ มิลลิเมตร (ที่คำนวณได้)} \\ \text{ปรับเป็น } d_m^2 &= 21 \text{ มิลลิเมตร} \end{aligned}$$

จะได้เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกของหัวฉีดชนิดรูปตีบเท่ากับ 21 มิลลิเมตร โดยรูปแบบของหัวฉีดมีลักษณะเรียวเหมือนกรวยมุมตัด มุม semicone ให้ค่าที่ 10 องศา มุมรวม ทั้งหมด 20 องศา ซึ่งเป็นค่าที่ได้ให้ไว้ของผู้ที่ทำการศึกษารูปแบบของหัวฉีดชนิดรูปตีบในที่นี้คือ เรดดี และ คาร์ (Reddy and Kar. 1968 : 127) ตรงปลายหัวฉีดกลึงเกลียวนอกยาวประมาณ 17 มิลลิเมตร ใช้เกลียวท่อนแบบ 60 จำนวนเกลียว 8 เกลียว เพื่อใช้สวมกับหัวฉีดปากผาย

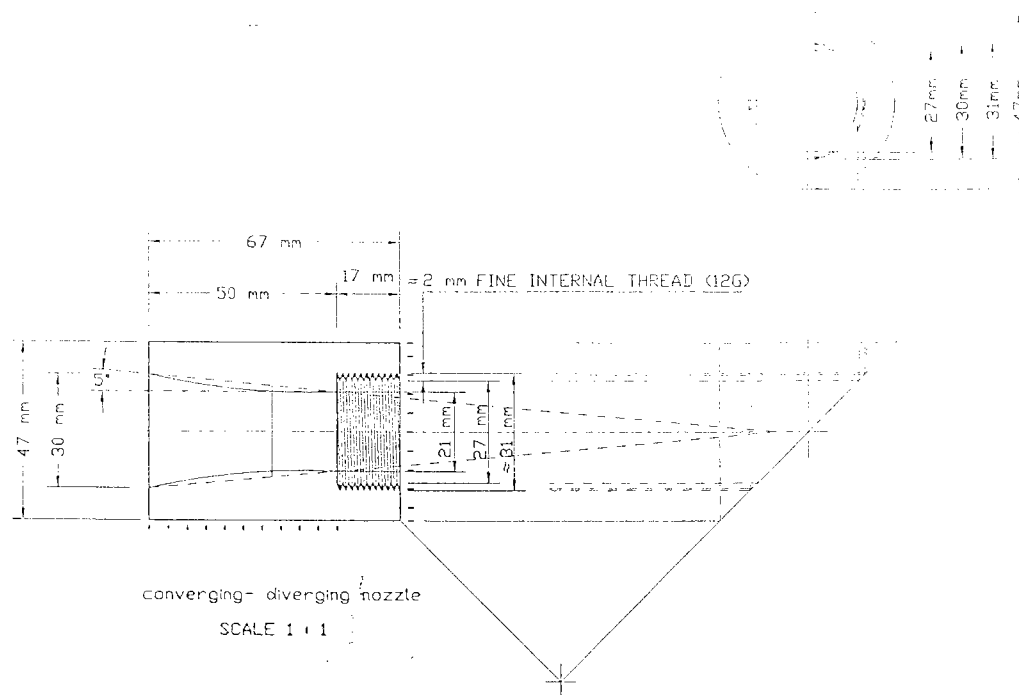
ที่เส้นผ่านศูนย์กลางเรียวข้างเล็ก 21 มิลลิเมตรจนถึงเส้นผ่านศูนย์กลางเรียวข้างโต 40 มิลลิเมตร และความยาวเรียวของหัวฉีด 55 มิลลิเมตร ได้อัตราเรียวเท่ากับ 1 : 3 และอัตราลาดของเรียวเท่ากับ 1 : 6 กลึงเกลียวนอกบนผนังท่อของหัวฉีดที่เส้นผ่าน

ศูนย์กลาง 40 มิลลิเมตร ยาวตลอด ใช้เกลียวท่อแบบ 60 จำนวนเกลียว 13 เกลียวต่อ 1 นิ้ว ไปจนสุดหน้างานของหัวฉีดชนิดรูปตีบเพื่อบรรจบกับท่อทางออก 40 มิลลิเมตรของเครื่องสูบลำเส้นผ่านศูนย์กลางหน้างานที่ออกแบบให้เป็นส่วนหนึ่งของหัวฉีดชนิดรูปตีบ เท่ากับ 90 มิลลิเมตร หน้า 10 มิลลิเมตร เจาะรู 8 รู โดยแต่ละรูห่างกัน 45 องศาจากเส้นศูนย์กลางของท่อ 40 มิลลิเมตร ขนาดรูที่เจาะ 6 มิลลิเมตร ดังภาพประกอบ 30



ภาพประกอบ 30 รูปแบบจากผลการออกแบบเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกของหัวฉีดชนิดรูปตีบ

รูปแบบของหัวฉีดชนิดปากผายที่สอดคล้องกับหัวฉีด ชนิดรูปตีบ ตัวหัวฉีดชนิดปากผายมีความยาวทั้งสิ้น 67 มิลลิเมตร หน้าตัด 47 มิลลิเมตร ตลอดหัวฉีด กลึงเกลียวในยาว 17 มิลลิเมตร ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 27 มิลลิเมตร เมื่อสวมต่อหัวฉีดชนิดปากผายกับหัวฉีดชนิดรูปตีบด้วยเกลียวจะได้ทางออก 21 มิลลิเมตร จากทางออกหัวฉีดชนิดรูปตีบไปยังหัวฉีดชนิดปากผายช่วงความยาวเกลียวใน 17 มิลลิเมตร ยังคงค่าเส้นผ่านศูนย์กลาง 21 มิลลิเมตร เรื่อยมาจนถึงความยาว 35 มิลลิเมตร การโค้งตัวขยายภายในหัวฉีดชนิดปากผาย ก็จะทำให้ขึ้นจนถึงค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางที่ 30 มิลลิเมตร คือ ค่าที่ต้องการในการออกแบบครั้งนี้ ดังภาพประกอบ 31



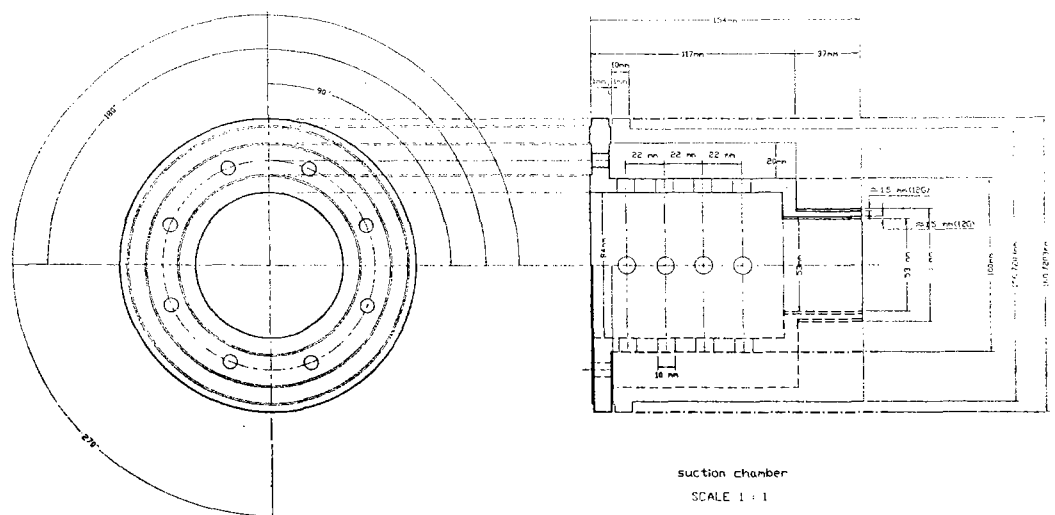
ภาพประกอบ 31 รูปแบบของหัวฉีดชนิดปากผายที่ทางไหลขยายบานกว้างออก

ผลการออกแบบห้องดูดและครอบห้องดูด

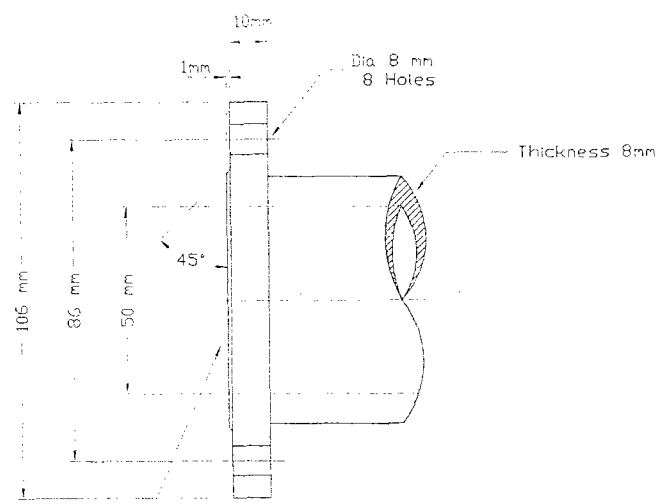
ห้องดูดเป็นส่วนประกอบสำคัญหนึ่งของกรวยเติมอากาศ เมื่อของไหลขับที่มีความดันสูงเข้ามายังห้องดูดโดยผ่านหัวฉีดซึ่งทำให้ความเร็วของการไหลสูงขึ้นการเหนียวนำอากาศก็เกิดที่ห้องดูด ทางเข้าด้านข้างสำหรับการเหนียวนำอากาศไปยังห้องดูด สามารถออกแบบได้อย่างหลากหลาย ในขณะที่กรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีดสามารถวางลงได้น้ำได้อย่างสมบูรณ์

เพื่อให้การเหนียวนำอากาศเข้ามีความใกล้เคียงในลักษณะเดียวกันจำเป็นต้องออกแบบครอบห้องดูดบังคับให้อากาศที่ถูกเหนียวนำกระจายเต็มเข้าไปทุกส่วนของรูปวงแหวนที่เกิดขึ้นภายในห้องผสมกับการผสมที่สมบูรณ์ระหว่างของไหลสองชนิด โดยการแบ่งห้องดูดเป็น 4 ส่วน ทำมุม 0 90 180 270 องศา จากเส้นศูนย์กลาง (Center Line ; CL) เจาะรู 4 รูของแต่ละส่วน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ดังภาพประกอบ 32 ดังนั้นแต่ละการเหนียวนำอากาศเข้าโดยวิธีการของหัวฉีด ที่ซึ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางห้องดูดถูกกำหนดโดยทางเข้าของห้องผสม

ผลการออกแบบในครั้งนี้ได้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายในห้องดูดที่ 84 มิลลิเมตร ตามทางเข้าห้องผสมตลอดความยาว 118 มิลลิเมตร จากนั้นฉากลงเพื่อให้ได้เส้นผ่านศูนย์กลาง 49 มิลลิเมตร ตลอดความยาว 45 มิลลิเมตร กิ่งเกลียวในแบบทอ 60 สำหรับติดตั้งหัวฉีดเพื่อปรับค่าและกิ่งเกลียวนอกแบบเกลียวเดียวกันเพื่อสวมต่อครอบห้องดูด การบรรจุห้องดูดกับทางเข้าห้องผสมได้ออกแบบให้มีหน้าแปลน 2 ชั้น ได้เส้นผ่านศูนย์กลางโตสุดรวมการมีอยู่ของหน้าแปลนของห้องดูดเท่ากับ 169 มิลลิเมตร จากผนังห้องดูดภายนอกขึ้นไป 10 มิลลิเมตรของหน้าแปลนคือจุดศูนย์กลางรูเจาะ เส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร จำนวน 8 รู แต่ละรูห่างกัน 45 องศา จากเส้นศูนย์กลางบรรจุกับทางเข้าห้องผสมโดยใช้สลักเกลียว การรั่ว (Leak) ไหลจะไม่เกิดขึ้นโดยออกแบบหน้าแปลนให้มีหน้าสัมผัสที่หนา ดังภาพประกอบ 33 จากผนังห้องดูดภายนอกระยะเพิ่มขึ้นในแนวถึง 20 มิลลิเมตร เป็นผนังภายในครอบห้องดูดตลอดความยาว 106 มิลลิเมตร ความหนา 8 มิลลิเมตร ส่วนความยาวที่เหลือ 37 มิลลิเมตร ของครอบห้องดูดกิ่งเกลียว ในแบบทอ 60 ตลอดความยาวมิติตัวครอบห้องดูดได้เส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่ 140 มิลลิเมตร ตลอดความยาว 106 มิลลิเมตร ผนังครอบห้องดูดหนา 8 มิลลิเมตร ส่วน 37 มิลลิเมตร ที่เหลือเป็นความหนาส่วนฐานครอบห้องดูดเพื่อใช้รับน้ำหนักของตัวครอบ



ภาพประกอบ 32 ตำแหน่งการแบ่งห้องดูดเพื่อการเจาะรู



หน้าแปลนที่มีหน้าลิ่มฝังที่นูน

ภาพประกอบ 33 ลักษณะหน้าสัมผัสที่นูนของหน้าแปลนเพื่อป้องกันการรั่วไหล

ห้องดูดเองและน้ำหนักของส่วนประกอบรัดแยก (saddle clamp) ที่นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้เพื่อติดตั้งท่อเหนียวน้ำ รวมความยาวทั้งสิ้นของตัวครอบห้องดูด 143 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางโตสุดของการมีหน้าแปลนรวมอยู่กับตัวครอบห้องดูด 169 มิลลิเมตร เมื่อสวมต่อครอบห้องดูดกับห้องดูด โดยการหมุนเกลียวจนหน้าแปลนของทั้งสองส่วนประกอบสัมผัสกันก็จะเกิดพื้นที่ว่างภายใน เป็นผลทำให้อากาศที่ถูกเหนียวน้ำด้วยวิธีการของหัวฉีดผ่านท่อเหนียวน้ำกระจายทั่วพื้นที่ว่างภายใน จากนั้นก็เข้าสู่พื้นที่รูปวงแหวน โดยผ่านรูเจาะบนผนังห้องดูดทั้ง 4 ส่วน เพื่อการผสมระหว่างลำน้ำกับอากาศในห้องผสมต่อไป

การเจาะรูเหนียวน้ำบนผนังครอบห้องดูดเพื่อติดตั้งท่อเหนียวน้ำโดยตรงไม่สามารถกระทำได้ เพราะความโตของรูที่เจาะบนพื้นที่โค้ง เมื่อขนาดรูที่เจาะมีขนาดเพิ่มขึ้นก็จะกลายเป็นวงรีตามพื้นที่ส่วนโค้งของตัวครอบห้องดูดเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยใช้รัดแยกท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 160×1 นิ้ว ลงบนตัวครอบห้องดูด ใช้สลักเกลียวเป็นตัวยึด ส่วนล่างของรัดแยกบริเวณรูทางเข้าจะมีแหวนยาง (O - Ring) ทำหน้าที่ป้องกันการรั่วและบนผนังตัวครอบห้องดูดเจาะรูเหนียวน้ำ 1 รูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตร โดยตำแหน่งทั้งสองอยู่ในเส้นศูนย์กลางเดียวกัน ท่อเหนียวน้ำที่ใช้กับกรวยเดิมอากาศใช้ท่อพีวีซี ขนาดเส้นศูนย์กลางภายใน 12 มิลลิเมตร ยาว 680

มิลลิเมตร ใช้ข้อต่อตรงเกลียวนอกเป็นตัวยึดกับรัดแยกโดยใช้ดัดเหล็ยม (Bushing)
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $1 \times 1\frac{1}{2}$ นิ้ว เป็นตัวกลางสวมต่อระหว่างส่วนประกอบทั้งสอง

ผลการออกแบบทางเข้าห้องผสม

ทางเข้าห้องผสมเป็นส่วนบรรจบกับห้องดูดมีลักษณะเรียวหน้าตัดสองข้างเป็นวงกลมที่มีขนาดต่างกันครอบคลุมหัวฉีดไว้คำมู suction cone ได้จากการแนะนำจากผู้วิจัยหลายท่านที่ได้ให้ไว้ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันดังนี้

ผู้วิจัย

คำมู suction cone

Kroll (1947)

10 องศา

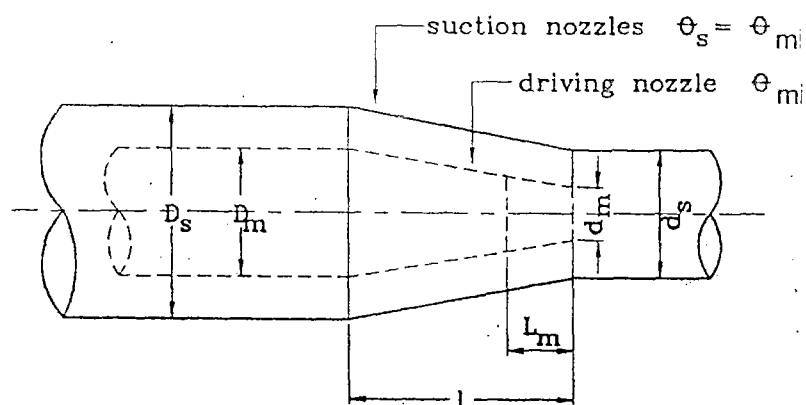
Reddy and Kar (1968)

8 - 10 องศา

ซึ่งคำมู suction cone ที่ได้รับการแนะนำไว้จากผู้แนะนำข้างต้นเปรียบเทียบได้กับผล โดยเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$\text{โดยมุม semi cone } \theta_s = \theta_m = \sin^{-1} \sqrt[3]{\frac{f}{8} (1 + R)}$$

จากลักษณะมุม semicone ของหัวฉีดชนิดรูตีบ อาจมาจากรูปแบบเรขาคณิตของทางเข้าห้องผสม ดังภาพประกอบ 34



ภาพประกอบ 34 รูปแบบความสัมพันธ์เชิงเรขาคณิตของทางเข้าห้องผสมกับหัวฉีดชนิดรูตีบ

ทางเข้าห้องผสมจากการนำรูปแบบเชิงเรขาคณิตเป็นตัวพิจารณาโดยใช้ตัวแบบ
เชิงคณิตศาสตร์

$$D_m = 2 \cdot (1 \cdot L_m) \cdot \tan \theta_s + d_m$$

โดยกำหนดให้เส้นผ่านศูนย์กลางท่อขับ (D_m) = 40 มิลลิเมตร เพื่อให้สอดคล้อง
กับทางออก (discharge) ของเครื่องสูบน้ำ สิ่งที่ได้รับมีดังนี้

ความยาวของทางเข้าห้องผสม (l) ที่ซึ่งได้รับการแทนค่าได้ดังนี้

$$40 = 2 \cdot (l - 42) \cdot \tan 10^\circ + 21$$

$$l = \frac{40 - 21}{2 \tan 10^\circ} + 42$$

$$l = 95.88 \text{ (ที่คำนวณได้)}$$

ปรับเป็น $l = 96$ มิลลิเมตร

ตามมาด้วยเส้นผ่านศูนย์กลางทางเข้าห้องผสมโตสุด (D_s) ซึ่งได้รับการแทนค่า
ได้ดังนี้

$$D_s = 2 \cdot l \cdot \tan \theta_s + D_{MC} \text{ (} D_{MC} \text{ ที่ปรับค่าแล้ว)}$$

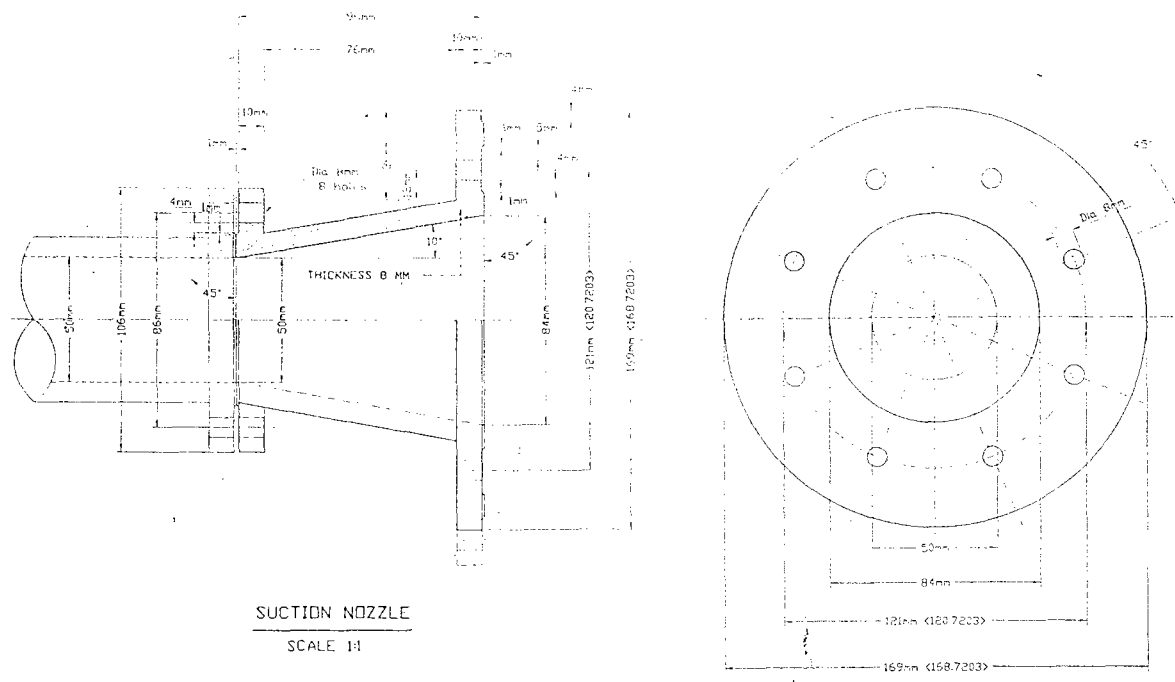
$$D_s = 2 \times 96 \times \tan 10^\circ + 50$$

$$D_s = 83.85 \text{ (ที่คำนวณได้)}$$

ปรับเป็น $D_s = 84$ มิลลิเมตร

ได้เส้นผ่านศูนย์กลางภายในโตสุดของทางเข้าห้องผสมเท่ากับ 84 มิลลิเมตร ของความยาว
ทางเข้าห้องผสมที่ระยะ 96 มิลลิเมตร ทางออกเพื่อไปสู่ห้องผสม ได้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลาง
ภายในที่ 46.95 มิลลิเมตร (เมื่อนำค่าทางออกที่ 46.95 มิลลิเมตร มาใช้ขึ้นรูปถูกปรับ
เป็นค่าที่ 50 มิลลิเมตร ความยาวของทางเข้าห้องผสมเปลี่ยนเป็น 98 มิลลิเมตร) ที่เส้น
ผ่านศูนย์กลางเรียวข้างเล็กทางเข้าห้องผสม 50 มิลลิเมตร จนถึงเส้นผ่านศูนย์กลางเรียว
ข้างโต 84 มิลลิเมตร ได้อัตราเรียวเท่ากับ 1 : 3 มิลลิเมตร และอัตราลาดเรียว เท่ากับ 1 :
6 มิลลิเมตร เลือกซูเปอร์สีน ไนลอน 6 หน้าตัด 170 มิลลิเมตร ขึ้นรูป ส่วนประกอบทาง
เข้าห้องผสม เส้นผ่านศูนย์กลางโตสุดรวมการมีอยู่ของหน้าจานทางเข้าห้องผสม เท่ากับ
169 มิลลิเมตร เจาะรู 8 รู ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ตัวหน้าจานทางเข้าห้อง
ผสมโดยใช้รัศมี 60 มิลลิเมตร จากเส้นศูนย์กลาง สำหรับการเจาะรูบนหน้าจาน เรียวข้างโต

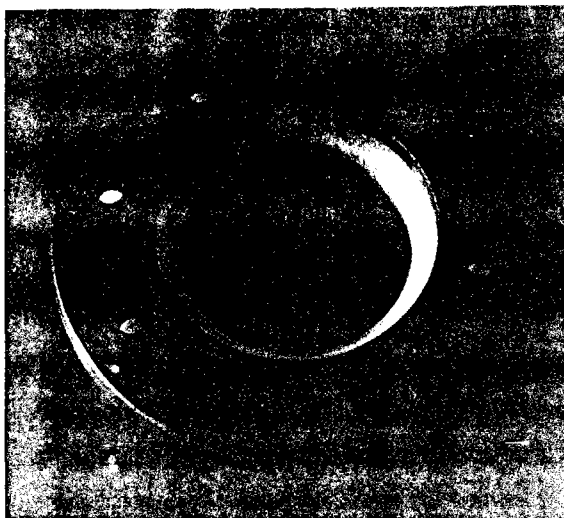
และใช้รัศมี 43 มิลลิเมตร จากเส้นศูนย์กลางเดียวกัน สำหรับการเจาะรูบนหน้าจานรียาวข้างเล็ก ดังภาพประกอบ 35



ภาพประกอบ 35 รูปแบบจากการออกแบบทางเข้าห้องผสม

การเจาะรูหน้าจานของหัวฉีดชนิดรูตีบ หน้าจานเกลียว หน้าจานทางเข้าห้องผสม หัวท้าย หน้าจานห้องผสมและหน้าจานดีฟิวเซอร์ที่เส้นผ่านศูนย์กลางรวมการมีอยู่ของ หน้าจานที่ 90 90 169 106 และ 120 มิลลิเมตร ตามลำดับนั้นคือ การที่จะให้รูทั้ง 8 รู ที่เจาะบนหน้าจานได้ศูนย์กลางเดียวกันเพื่อการบรรจบส่วนประกอบเข้าด้วยกัน เพื่อหลีกเลี่ยงความคลาดเคลื่อนของการเจาะ จำเป็นต้องออกแบบกรอบเหล็กหล่อสำหรับการเจาะรูบนหน้าจานส่วนประกอบต่าง ๆ ของกรวยเติมอากาศเพื่อให้เกิดความแม่นยำในการเจาะ เมื่อประกอบส่วนประกอบทั้งหมดเข้าด้วยกัน โดยยึดด้วยสลักเกลียว ปัญหาที่เกิดจากความไม่ราบเรียบของรอยต่อทุกรอยต่อการมีอยู่ของหน้าจานก็จะหมดไป

ดังภาพประกอบ 36



ภาพประกอบ 36 แบบครอบเหล็กหล่อสำหรับการเจาะรูบนหน้าจาน

ผลการออกแบบห้องผสมและดีฟิวเซอร์

ความต้องการให้ปริมาณการเหนี่ยวนำอากาศเข้ามากกว่าการไหลของของไหลที่หนึ่งไหลผ่านหัวฉีด กำหนดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในห้องผสมจากอัตราส่วนพื้นที่ โดยได้รับจากปริมาณการเหนี่ยวนำอากาศเข้าต่อปริมาณการไหลของของไหลขับ ค่าอัตราส่วนพื้นที่ที่ใช้หาเส้นผ่านศูนย์กลางห้องผสมและส่วนอื่นๆ ของส่วนประกอบของกรวยเติมอากาศที่ใช้ตัวแปรร่วมนี้คือ ค่าที่ 0.20 เพื่อต้องการหาเส้นผ่านศูนย์กลางห้องผสมประมาณได้จากสูตรดังนี้

$$D_{MC} = \frac{d_m}{\sqrt{R'}}$$

ค่า R' ที่ใช้ในการออกแบบหาเส้นผ่านศูนย์กลางภายในห้องผสมเมื่อนำมาแทนค่าจะได้

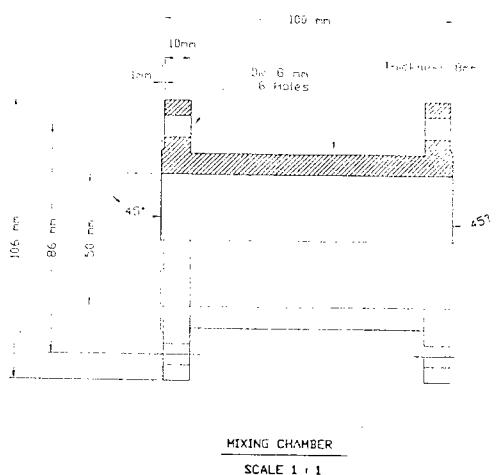
$$D_{MC} = \frac{21}{\sqrt{0.20}}$$

$$D_{MC} = 46.95 \text{ (ที่คำนวณได้)}$$

ปรับเป็น $D_{MC} = 50 \text{ มิลลิเมตร}$

ได้เส้นผ่านศูนย์กลางภายในห้องผสมที่ 46.95 มิลลิเมตร ค่าที่ได้ถูกปรับเป็น 50 มิลลิเมตร ให้สอดคล้องกับขนาดของท่อพีวีซีชั้นคุณภาพที่ 13.5 ที่มีจำหน่ายภายในท้องตลาด เพื่อความสะดวกในการปรับหาความยาวของห้องผสมที่เหมาะสมในการทดลอง

การนำวัสดุมาใช้ลงขึ้นรูป เลือกซูเปอร์ลีน ไนลอน เบอร์ 6 หน้าตัด 110 มิลลิเมตร ขึ้นรูป ส่วนประกอบห้องผสม โดยแบ่งห้องผสมออกเป็น 2 ชั้น ความยาวละ 100 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายในห้องผสมใช้ค่าที่ 50 มิลลิเมตร ความหนาของผนังห้องผสม 8 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางโตสุด รวมการมีอยู่ของหน้าจานห้องผสมเท่ากับ 106 มิลลิเมตร เจาะรู 8 รู ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร บนหน้าจาน ห้องผสม ใช้รัศมี 43 มิลลิเมตร จากเส้นศูนย์กลางเป็นตำแหน่งหาศูนย์กลางรูที่เจาะโดยแต่ละรูห่างกัน 45 องศา ดังภาพประกอบ 37



ภาพประกอบ 37 รูปแบบจากการออกแบบห้องผสมทั้งสองส่วนและตำแหน่งของรูเจาะบนหน้าจานห้องผสม

สำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกกว้างสุดของดีฟิวเซอร์เท่ากับ 70 มิลลิเมตร และทางเข้าสู่ดีฟิวเซอร์ใช้เส้นผ่านศูนย์กลางเดียวกันกับห้องผสม จากเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเรียวข้างโต 70 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเรียวข้างเล็ก 50 มิลลิเมตร ที่ความยาวเรียว 245 มิลลิเมตร ได้อัตราเรียวดีฟิวเซอร์เท่ากับ 1 : 13 และอัตราลาดเรียวเท่ากับ 1 : 24 ขณะที่มุม semi cone เท่ากับ 2.5 องศา และมุมรวมทั้งหมดเท่ากับ 5 องศา ดีฟิวเซอร์ประมาณได้จากสูตรดังนี้

$$D_D = \frac{1.5 \cdot d_m}{\sqrt{R}}$$

ในการออกแบบหาเส้นผ่านศูนย์กลางโตสุดดิฟฟิวเซอร์เมื่อนำมาแทนค่าได้

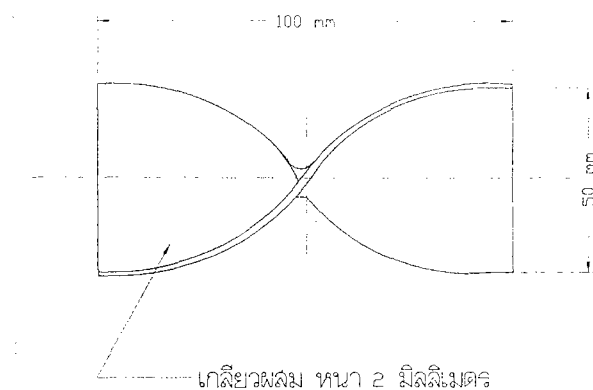
$$D_D = \frac{1.5 \cdot 21}{\sqrt{0.20}}$$

$$D_D = 70.44 \text{ (ที่คำนวณได้)}$$

ปรับเป็น $D_D = 70$ มิลลิเมตร

การขึ้นรูปส่วนประกอบดิฟฟิวเซอร์เลือกซูเปอร์ลีน ไนลอน 6 หน้าตัดที่ 120 มิลลิเมตร แยกขึ้นรูปเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกที่มีความยาว 160 มิลลิเมตร เป็นส่วนซึ่งบรรจบกับห้องผสมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในตั้งต้นที่ 50 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางโตสุด รวมการมีอยู่ของหน้าจานเหมือนกันทุกประการกับหน้าจานห้องผสม หน้าจานสำหรับดิฟฟิวเซอร์ ๓ ความยาวที่ 160 มิลลิเมตร ได้เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 63 มิลลิเมตร ของส่วนแรกถึงหน้าจานร่วมบนตัวดิฟฟิวเซอร์ ได้เส้นผ่านศูนย์กลางโตสุด รวมการมีอยู่ของหน้าจานเท่ากับ 120 มิลลิเมตร ใช้รัศมี 50.5 มิลลิเมตร จากเส้นศูนย์กลางเป็นตำแหน่งหาศูนย์กลางรูเจาะ เพื่อใช้บรรจบกับดิฟฟิวเซอร์ส่วนที่สองโดยแต่ละรูห่างกัน 45 องศา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูที่เจาะรูละ 8 มิลลิเมตร จำนวน 8 รู จากนั้นกลึง ส่วนที่สองของความยาวที่เหลืออีก 85 มิลลิเมตร โดยเริ่มจากการกลึงหน้าจานร่วมลักษณะเหมือนกันทุกประการกับส่วนแรก และคว้านรูภายในของเส้นผ่านศูนย์กลางของรีเวอซัง เล็กเริ่มต้นที่ 63 มิลลิเมตร มุม semi cone 2.5 องศา ไปจนถึงความยาวที่ 85 มิลลิเมตร ได้รีเวอซังโตที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร ตรงตำแหน่งนี้กลึงหน้าจานร่วมขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางโตสุด 120 มิลลิเมตร หน้า 8 มิลลิเมตร แต่ไม่เจาะรูสำหรับสลักเกลียว

ลักษณะดิฟฟิวเซอร์ที่แยกกลึงทั้งสองส่วนมีลักษณะภายนอกเรียวยาวให้เห็นได้ชัดที่ซึ่งรับกับมุมรีเวอซังภายใน เมื่อคิดเป็นอัตราเร็วของดิฟฟิวเซอร์ส่วนแรกของเส้นผ่านศูนย์กลางรีเวอซังโตเท่ากับ 63 มิลลิเมตรและเส้นผ่านศูนย์กลางรีเวอซังเล็กเท่ากับ 50 มิลลิเมตร ที่ความยาวของการกลึงส่วนแรก 160 มิลลิเมตร ได้อัตราเร็วเท่ากับ 1 : 13 อัตราลาดเร็วเท่ากับ 1 : 24 ส่วนการกลึงดิฟฟิวเซอร์ ส่วนที่สองเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางรีเวอซังเล็กเท่ากับ 63 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางรีเวอซังโต 70 มิลลิเมตร ที่ความยาว 85 มิลลิเมตร ได้อัตราเร็วเท่ากับ 1 : 13 อัตราลาดเร็ว เท่ากับ 1 : 24 เช่นกัน ดังภาพประกอบ 38

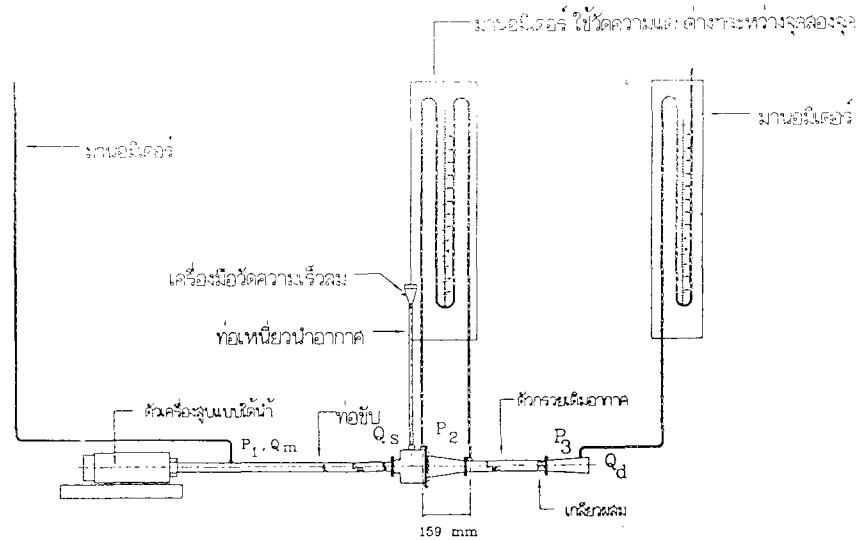


ภาพประกอบ 39 รูปแบบจากผลการออกแบบเกลียวผสมสำหรับการติดตั้งไว้ภายในห้องผสม

ขั้นตอนที่ 2 ผลการประกอบส่วนของกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีดและติดตั้งอุปกรณ์วัด

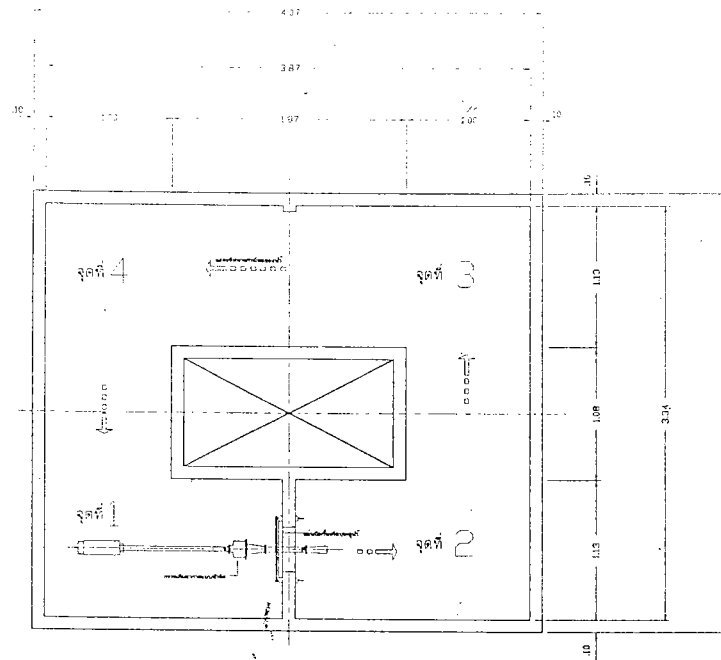
การดำเนินการประกอบเครื่องเติมอากาศกระทำโดยใช้สลักเกลียวเป็นตัวช่วยยึดส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกัน ซึ่งสามารถดำเนินการตามขั้นตอนการประกอบตามลำดับดังภาพประกอบ 29

จากนั้นหาตำแหน่งรูเจาะบนตัวครอบห้องดูดกับห้องผสมและทำการเจาะเพื่อสวมอัดปลอกสวมปลายมานอมิเตอร์ ซึ่งใช้หลอดแก้วทึบไฟชนาเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4 มิลลิเมตรตัดโค้งเป็นรูปตัวยู ฉะนั้นตำแหน่งปลอกสวมที่ได้ติดตั้งบนตัวครอบห้องดูด และห้องผสม ใช้ระยะห่าง 159 มิลลิเมตร และส่วนปลายดิฟฟิวเซอร์ก็เป็นอีกจุดหนึ่งที่เจาะรูเพื่อสวมอัดปลอกสวม ดังภาพประกอบ 40



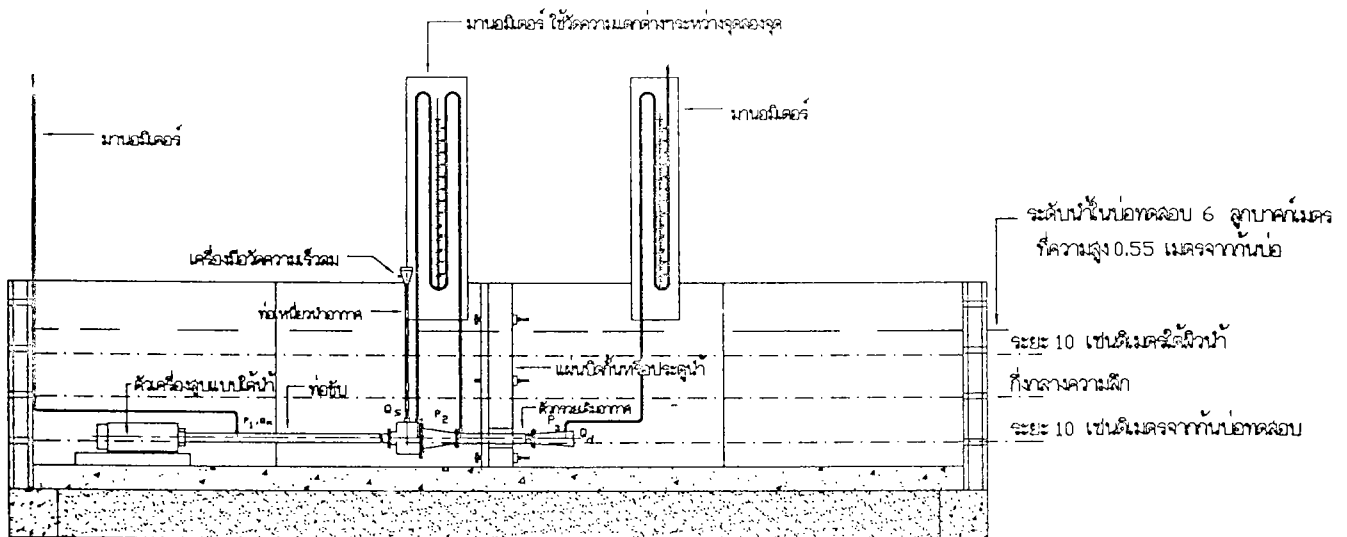
ภาพประกอบ 40 ตำแหน่งปลอกสวมमानมิเตอร์บนกรอบห้องดูด ห้องผสมและ
ดิฟฟิวเซอร์

บ่อทดสอบที่ถูกใช้ทำการทดสอบร่วมกับกรวยเติมอากาศ ผู้วิจัยได้ทำการ
ดัดแปลงสภาพของบ่อที่มีอยู่เดิมให้เป็นบ่อทดสอบที่มีลักษณะการไหลของน้ำเป็นแบบ
หมุนวน และมีแผ่นกั้นทางไหลของน้ำติดตั้งอยู่ภายในบ่อระหว่างผนังบ่อทั้งสองข้าง บนสัน
ผนังบ่อติดตั้งเหล็กฉากเพื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดมิติภายในบ่อทดสอบมีขนาด กว้าง
3.54 เมตร ยาว 4.07 เมตร สูง 0.76 เมตร กลางบ่อทดสอบเป็นพื้นที่ว่าง โดยการก่ออิฐ
ฉาบปูนกว้าง 1.08 เมตร ยาว 1.87 เมตร สูง 0.76 เมตร ปริมาณน้ำ 6 ลูกบาศก์เมตร
ถูกเติมไว้ในบ่อทดสอบที่ระดับความสูง 0.55 เมตรของตัวบ่อ ดังภาพประกอบ 41



ภาพประกอบ 41 มิติบ่อทดสอบแบบหมุนวนและทิศทางการไหลของน้ำ

นำกรวยเดิมอากาศไปติดตั้งไว้กับบ่อโดยเครื่องสูบลมวางไว้บนฐานรองที่ยึดแน่นกับกันบ่อทดสอบ โดยการใช้สมอยึด (anchor) เข้าช่วย อุปกรณ์วัดก็ถูกติดตั้งตามมาหลังการติดตั้ง และปรับตัวเครื่องเรียบร้อยแล้ว โดยยึดกับโครงสร้างของบ่อทดสอบ ดังภาพประกอบ 42



ภาพประกอบ 42 ภาพตัดการติดตั้งตัวเครื่องและอุปกรณ์วัดกับโครงสร้างบ่อทดสอบ

ขั้นตอนที่ 3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพกรวยเติมอากาศแบบหัวฉีด

การศึกษาวิจัยได้แบ่งการดำเนินการในขั้นตอนนี้ออกเป็น 2 ส่วน

1. ปรับระยะหัวฉีดขับ 12 ค่าคือ -20 -10 0 10 20 30 42 50 60 70 80 90 มิลลิเมตร และ 3 ค่าของความยาวห้องผสม 300 400 500 มิลลิเมตร เพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมของหัวฉีดขับต่อความยาวห้องผสม ผลที่ได้รับคือการเหนี่ยวนำอากาศโดยปริมาตร โดยพิจารณาค่าที่เหมาะสมที่สุดไปสู่การทดสอบของส่วนต่อไป กล่าวคือ
2. ศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ ($K_L a$) ในการถ่ายเทออกซิเจนที่เกิดจากการวยเติมอากาศที่สร้างขึ้นตามมาตรฐานการทดสอบเครื่องเติมอากาศระบบเครื่องมือกล โดยวิธีการเติมอากาศใหม่ในน้ำสะอาด ซึ่งมีขั้นตอนการทดสอบ 15 ขั้นตอน

ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บข้อมูลการเหนี่ยวนำอากาศที่เกิดจากการปรับระยะฉีด 12 ค่า จากหัวฉีดชนิดรูตีบ ตามด้วยหัวฉีดชนิดปากผายต่อความยาวห้องผสม ปรากฏไว้ในตารางแสดงผลเพื่อนำเสนอต่อไป อนึ่งผู้วิจัยใช้สัญลักษณ์แทนลงในตารางแสดงผลการเหนี่ยวนำอากาศซึ่งสามารถแปลความหมายสัญลักษณ์ได้ดังนี้

L : ระยะห่าง (มิลลิเมตร)

A : ไม่ติดตั้งเกลียวผสมมีดีฟเฟอร์เซอร์

B : ไม่ติดตั้งเกลียวผสมและไม่มียูฟิวเซอร์

C : ติดตั้งเกลียวผสมและมีดีฟเฟอร์เซอร์

D : ติดตั้งเกลียวผสมและไม่มียูฟิวเซอร์

- a ความยาวห้องผสมที่ 300 มิลลิเมตร
- b ความห้องผสมที่ 400 มิลลิเมตร
- c ความยาวห้องผสมที่ 500 มิลลิเมตร
- m หัวฉีดขับ

3.1 ผลการเก็บข้อมูลทดลองการเหนี่ยวนำอากาศ

ผลการเก็บข้อมูลการเหนี่ยวนำอากาศที่เกิดจากการปรับระยะห่างหัวฉีดทั้งสองชนิด ปรากฏผลดังตาราง 1 และ 2 ดังนี้

ตาราง 1 แสดงผลการเหนี่ยวนำอากาศโดยใช้หัวฉีดชนิดรูป (ในหน่วยเมตรต่อวินาที)

L_m	Aa	Ab	Ac	Ba	Bb	Bc	Ca	Cb	Cc	Da	Db	Dc
-20	2.1	2	1.9	0.9	0.8	0.9	0.5	0.6	0.7	0.8	0.7	0.7
-10	2.1	2.1	2	0.9	0.8	0.9	0.6	0.7	0.7	0.8	0.7	0.7
0	2	2	2	0.9	0.8	0.8	0.6	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7
10	2.1	2.1	2	0.9	0.8	0.9	0.6	0.7	0.7	0.8	0.7	0.7
20	2.1	2.1	2	0.9	0.8	0.9	0.6	0.7	0.7	0.8	0.7	0.7
30	1.9	1.9	2	0.9	0.8	0.9	0.6	0.8	0.9	0.8	0.8	0.9
42	2	2	2	1	1.1	1.1	0.6	0.9	1.1	0.9	0.9	1.1
50	2	1.9	2	1	1	1.1	0.6	0.9	1	0.9	0.9	1.1
60	2	2	2	1	1.1	1.1	0.6	0.9	1	0.9	0.9	1.1
70	2	1.9	2	1	1.1	1.2	0.6	0.9	1.1	0.9	0.9	1.1
80	2	1.9	2	1	1.1	1.2	0.6	0.9	1.1	0.9	0.9	1.1
90	2	1.9	2	1	1.1	1.2	0.6	0.9	1.1	0.9	0.9	1.1

ตาราง 2 แสดงผลการเหนี่ยวนำอากาศโดยใช้หัวฉีดชนิดปากผายร่วม (ในหน่วยเมตรต่อวินาที)

L_m	Aa	Ab	Ac	Ba	Bb	Bc	Ca	Cb	Cc	Da	Db	Dc
-20	1.9	2	2	1.1	1.4	1.6	0.8	0.9	1	1	1.1	1.2
-10	1.9	2	2	1.1	1.4	1.6	0.8	0.9	1	1	1.1	1.2
0	1.9	2	2	1.2	1.5	1.8	0.8	0.9	1	1	1.2	1.2
10	2	2.1	2.1	1.2	1.5	1.8	0.9	1	1.2	1	1.2	1.2
20	2	2.1	2.2	1.2	1.5	1.8	0.9	1	1.3	1	1.2	1.3
30	2	2.1	2.2	1.2	1.5	1.8	0.9	1	1.3	1.1	1.2	1.3
42	2	2.1	2.2	1.2	1.5	1.8	1	1	1.3	1.1	1.3	1.3
50	2.2	2.2	2.3	1.5	1.7	1.9	1.2	1.3	1.4	1.2	1.4	1.4
60	2.3	2.3	2.4	1.7	1.8	2	1.3	1.4	1.5	1.3	1.4	1.5
70	2.4	2.4	2.5	1.7	2	2	1.3	1.4	1.5	1.3	1.4	1.5
80	2.5	2.5	2.6	1.9	2.2	2.4	1.4	1.5	1.8	1.4	1.6	1.8
90	2.6	2.7	2.7	1.9	2.2	2.4	1.4	1.5	1.8	1.4	1.6	1.8

จากตาราง 1 และ 2 หน่วยการเหนี่ยวนำอากาศที่บันทึกได้เป็นค่าที่เก็บโดยเครื่องมือวัดความเร็วลม (Anemometer) รุ่น : DA - 42 มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที จึงจำเป็นต้องเปลี่ยนค่าข้างต้นเป็นค่าการเหนี่ยวนำอากาศโดยปริมาตร มีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที โดยใช้สมการความต่อเนื่องที่มีมาจากกฎทรงมวลของสสารแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล ความเร็วและพื้นที่หน้าตัดของการไหล ซึ่งเป็นสมการพื้นฐานเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$Q = V \cdot A$$

เมื่อ Q = อัตราการไหลมีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที (l/min)

V = ความเร็วเฉลี่ยของการไหลมีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/sec)

A = พื้นที่หน้าตัดของการไหล (หน้าตัดของหัวเซ็นเตอร์)

มีหน่วยเป็นตารางเซนติเมตร (cm^2)

ที่ซึ่งเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวเซ็นเซอร์เท่ากับ 6.54 เซนติเมตร เมื่อ A หาค่าได้จากสูตร $\frac{\pi}{4} \cdot d^2$ ค่าคงที่ของ A เท่ากับ 33.59 เซนติเมตร เพื่อเปลี่ยนหน่วยความเร็วการเหนี่ยวนำอากาศจากหน่วยเมตรต่อวินาทีไปเป็นลิตรต่อวินาทีโดยปริมาตร (กิริติ ลีวัจนกุล. 2534 : 241)

การศึกษาจากผลการทดลองการเหนี่ยวนำอากาศจากหัวฉีดชนิดรูตีบ

จากตาราง 1 ความเร็วการเหนี่ยวนำอากาศที่เกิดจากการใช้หัวฉีดชนิดรูตีบโดยไม่ติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสมโดยมีดีฟฟิวเซอร์ จากตารางชุดนี้มีค่าความเร็วของการเหนี่ยวนำอากาศในช่วง 1.9 - 2.1 เมตรต่อวินาที หรือ 382.93 - 423.23 ลิตรต่อนาที โดยปริมาตร โดยสังเกตว่าระยะห่างของหัวฉีดกับชนิดรูตีบตามการปรับตามค่า 12 ค่าระยะห่างและ 3 ค่าความยาวห้องผสมไม่มีความแตกต่างกันอย่างเด่นชัดของความเร็วการเหนี่ยวนำอากาศไปจนถึงการปรับระยะหัวฉีดที่ 90 มิลลิเมตร ของความยาวห้องผสม 300 400 500 มิลลิเมตร (Aa Ab Ac) ตามลำดับ

แต่เป็นที่น่าสังเกตว่า ตำแหน่งหัวฉีดที่ระยะ -20 -10 10 20 มิลลิเมตร จากความยาวห้องผสม 300 400 มีความเร็วในการเหนี่ยวนำอากาศเร็วกว่าตำแหน่งหัวฉีดที่ระยะ 30 42 50 60 70 80 90 มิลลิเมตรเล็กน้อย และความยาวห้องผสม 500 มิลลิเมตร ที่ตำแหน่งหัวฉีดระยะ -20 จนถึง 90 มิลลิเมตร ความเร็วในการเหนี่ยวนำอากาศค่อนข้างคงที่

จากตาราง 1 ความเร็วการเหนี่ยวนำอากาศที่เกิดจากการไม่ติดตั้งเกลียวผสมและไม่มีดีฟฟิวเซอร์ จากตารางชุดนี้มีค่าความเร็วของการเหนี่ยวนำอากาศในช่วง 0.8 - 1.2 เมตรต่อวินาที หรือ 161.23 - 241.85 ลิตรต่อนาที โดยปริมาตร โดยสังเกตว่าระยะห่างของหัวฉีดกับชนิดรูตีบตามการปรับตามค่า 12 ค่าระยะห่างและ 3 ค่าความยาว ห้องผสมพบว่า ความเร็วการเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้น เมื่อหัวฉีดอยู่ในตำแหน่งที่ระยะ 42 มิลลิเมตร จากความยาวห้องผสม 300 และ 400 มิลลิเมตร (Ba Bb) และเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยเมื่อเปลี่ยนความยาวห้องผสมเป็น 500 มิลลิเมตร (Bc) ณ ตำแหน่งหัวฉีดที่ระยะ 70 80 และ 90 มิลลิเมตร โดยให้ค่าความเร็วของการเหนี่ยวนำอากาศที่ 1.2 เมตรต่อวินาที หรือ 241.85 ลิตรต่อนาทีโดยปริมาตร

จากตาราง 1 ความเร็วการเหนี่ยวนำอากาศที่เกิดจากการติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสม จากตารางชุดนี้มีค่าความเร็วในการเหนี่ยวนำอากาศในช่วง 0.5 - 1.1 เมตรต่อวินาที หรือ 100.77 - 221.69 ลิตรต่อนาที โดยปริมาตร โดยสังเกตว่าการปรับระยะห่างหัวฉีด 12 ค่า จากความยาวห้องผสม 300 มิลลิเมตร (Ca) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างเด่นชัดต่อการเหนี่ยวนำอากาศเริ่มต้นที่ 0.5 เมตรต่อวินาที จากระยะห่างหัวฉีด -20 มิลลิเมตร เมื่อปรับระยะห่างของหัวฉีดเป็น -10 0 10 20 30 42 50 60 70 80 และ 90 มิลลิเมตร ตามลำดับ การเหนี่ยวนำอากาศเพิ่มขึ้นเล็กน้อยคือ 0.6 เมตรต่อวินาที จากการเหนี่ยวนำเริ่มต้น ส่วนค่าความเร็วการเหนี่ยวนำอากาศของการปรับระยะห่างหัวฉีด 12 ค่า จากความยาวห้องผสม 400 มิลลิเมตร (Cb) พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างเด่นชัดต่อการเหนี่ยวนำอากาศเริ่มต้นที่ 0.6 เมตรต่อวินาที จากระยะห่างหัวฉีด -20 มิลลิเมตร และเพิ่มขึ้นเป็น 0.7 0.8 และ 0.9 เมตรต่อวินาที เมื่อระยะห่างของหัวฉีดเพิ่ม

ขึ้นเป็น -10 ถึง 20 30 และ 42 ถึง 90 มิลลิเมตร ตามลำดับ ท้ายสุดค่าความเร็วการเหนี่ยวนำอากาศจากการปรับระยะหัวฉีดขับจากความห้องผสมที่ 500 มิลลิเมตร (Cc) พบว่า มีการเหนี่ยวนำอากาศไม่คงที่ จากการเหนี่ยวนำเริ่มต้นที่ 0.7 เมตรต่อวินาที ของระยะห่างหัวฉีด -20 มิลลิเมตร ไปจนสู่ระยะห่าง 90 มิลลิเมตร ให้การเหนี่ยวนำ 1.1 เมตรต่อวินาที

จากตาราง 1 ความเร็วการเหนี่ยวนำอากาศที่เกิดจากการติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสมโดยไม่มีดีฟิวเซอร์ จากตารางชุดนี้มีค่าความเร็วของการเหนี่ยวนำอากาศในช่วง 0.7 - 1.1 เมตรต่อวินาที หรือ 141.08 - 221.69 ลิตรต่อนาทีโดยปริมาตร โดยสังเกตว่าระยะห่างหัวฉีดจากการปรับตามค่า 12 ค่าระยะห่าง จากความยาวห้องผสม 300 มิลลิเมตร (Da) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างเด่นชัดต่อการเหนี่ยวนำอากาศเริ่มต้นที่ 0.8 เมตรต่อวินาที จากระยะห่างหัวฉีด -20 -10 10 20 และ 30 มิลลิเมตร และเป็น 0.7 เมตรต่อวินาที จากระยะห่างหัวฉีด 0 มิลลิเมตร เมื่อเพิ่มระยะห่างหัวฉีดเป็น 42 50 60 70 80 และ 90 มิลลิเมตร ตามลำดับ ให้การเหนี่ยวนำอากาศที่ 0.9 เมตรต่อวินาที ส่วนค่าความเร็วการเหนี่ยวนำอากาศจากการปรับระยะห่างหัวฉีด 12 ค่าจากความยาวห้องผสม 400 มิลลิเมตร (Db) พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างเด่นชัดต่อการเหนี่ยวนำอากาศจากการเหนี่ยวนำเริ่มต้นที่ 0.7 เมตรต่อวินาทีของระยะห่างหัวฉีด -20 -10 0 10 และ 20 มิลลิเมตร เป็น 0.8 และ 0.9 เมตรต่อวินาทีจากระยะห่างหัวฉีด 30 42 50 60 70 80 และ 90 มิลลิเมตร ตามลำดับ ท้ายสุดค่าความเร็วการเหนี่ยวนำอากาศจากการปรับระยะหัวฉีดขับของความยาวห้องผสมที่ 500 มิลลิเมตร (Dc) พบว่า มีความแตกต่างกันเล็กน้อยต่อการเหนี่ยวนำอากาศของการเหนี่ยวนำเริ่มต้นที่ 0.7 เมตรต่อวินาที จากระยะห่างหัวฉีด -20 -10 0 10 และ 20 มิลลิเมตร และเพิ่มขึ้นเป็น 0.9 และ 1.1 เมตรต่อวินาที จากระยะห่าง 30 และ 42 50 60 70 80 และ 90 มิลลิเมตร ตามลำดับ

จากตาราง 1 ความเร็วการเหนี่ยวนำอากาศรวมทั้งหมดของการทดสอบโดยใช้หัวฉีดชนิดรูตีบจากไม่มีการติดตั้งเกลียวผสมไว้ในห้องผสมโดยมีดีฟิวเซอร์ แทนด้วยสัญลักษณ์ A ไม่มีการติดตั้งเกลียวผสมไว้ในห้องผสมโดยไม่มีดีฟิวเซอร์ แทนด้วยสัญลักษณ์ B ติดตั้งเกลียวผสมไว้ในห้องผสมโดยมีดีฟิวเซอร์ แทนด้วยสัญลักษณ์ C และติดตั้งเกลียวผสมไว้ในห้องผสมโดยไม่มีดีฟิวเซอร์ แทนด้วยสัญลักษณ์ D ภายใต้การปรับระยะห่างหัวฉีดชนิดรูตีบ 12 ค่าระยะห่างที่ -20 -10 0 10 20 30 42 50 60 70 80 และ 90 มิลลิเมตร ของความยาวห้องผสม 300 มิลลิเมตร แทนด้วยสัญลักษณ์ a ความยาวห้องผสมที่ 400 มิลลิเมตร แทนด้วยสัญลักษณ์ b และ ความยาวห้องผสมที่ 500 มิลลิเมตร แทนด้วยสัญลักษณ์ c จากตารางรวมนี้มีค่าความเร็วของการเหนี่ยวนำอากาศในช่วง 0.5 - 2.1 เมตรต่อวินาทีหรือ 100.77 - 423.23 ลิตรต่อนาทีโดยปริมาตรที่ซึ่งแบ่งการทดสอบ ดังภาพประกอบ 43

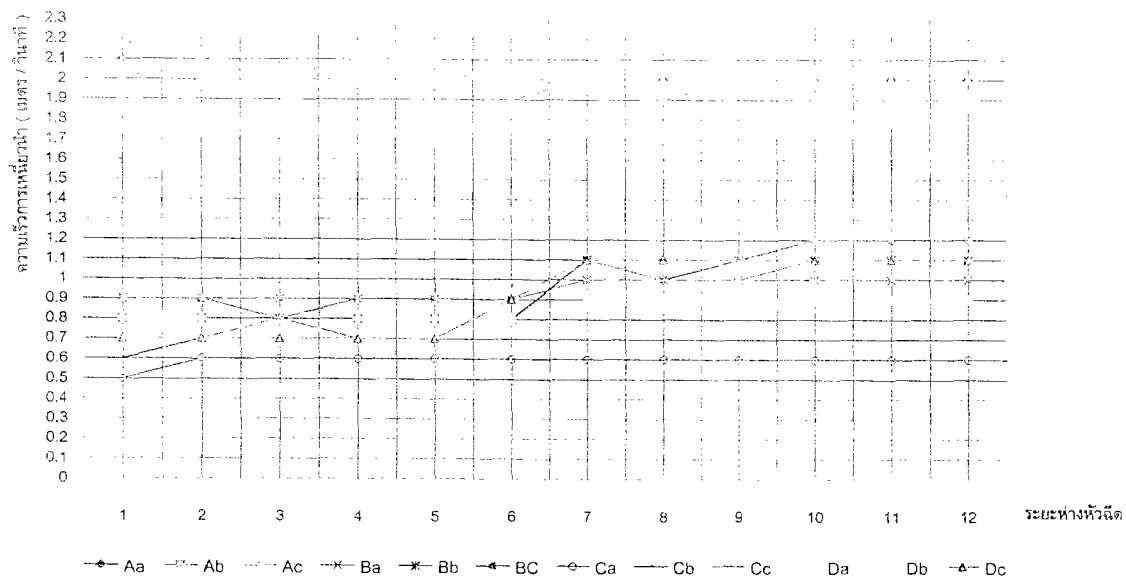
สรุป จากชุด A การเหนี่ยวนำอากาศจากไม่มีการติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสมโดยมีดิฟฟิวเซอร์ มีความเร็วการเหนี่ยวนำอากาศในช่วง 1.9 - 2.1 เมตรต่อวินาที หรือ 382.93 - 423.23 ลิตรต่อวินาที โดยปริมาตร ที่ความยาวห้องผสม 300 และ 400 มิลลิเมตร Aa, Ab) ให้ค่าความเร็วการเหนี่ยวนำอากาศสูงสุดที่ระยะห่างหัวฉีด -20, -10 และ 10, 20 มิลลิเมตร คือ 2 - 2.1 เมตรต่อวินาที หรือ 403.08 - 423.23 ลิตรต่อวินาที โดยปริมาตร การเพิ่มขึ้นของระยะห่างหัวฉีดไม่มีผลต่อการเหนี่ยวนำอากาศ เมื่อระยะห่างของหัวฉีดผ่านตำแหน่งที่ 42 มิลลิเมตร ความเร็วการเหนี่ยวนำคงที่

จากชุด B การเหนี่ยวนำอากาศจากไม่มีการติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสมโดยไม่มีดิฟฟิวเซอร์ ความเร็วการเหนี่ยวนำอากาศลดลงอย่างเด่นชัดอยู่ในช่วง 0.8 - 1.2 เมตรต่อวินาที หรือ 161.23 - 241.85 ลิตรต่อวินาที โดยปริมาตร ความเร็วการเหนี่ยวนำที่เกิดจากการปรับค่าระยะห่างของหัวฉีด 12 ค่า และ 3 ค่า ความยาวห้องผสมมีค่าความเร็วใกล้เคียงกัน แต่สังเกตว่าที่ตำแหน่งระยะห่างหัวฉีด 42 มิลลิเมตร ให้ความเร็วการเหนี่ยวนำสูงสุดและเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยเพียง 20.15 ลิตร เมื่อระยะห่างหัวฉีดเพิ่มขึ้นสูงสุด

จากชุด C การเหนี่ยวนำอากาศจากติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสมโดยมีดิฟฟิวเซอร์ ความเร็วการเหนี่ยวนำยังคงลดลงอยู่ในช่วง 0.5 - 1.1 เมตรต่อวินาที หรือ 100.77 - 221.69 ลิตรต่อวินาที โดยปริมาตร ที่ความยาวห้องผสม 500 มิลลิเมตร ให้ความเร็วการเหนี่ยวนำจากการปรับค่าระยะห่างของหัวฉีด 12 ค่า และ 3 ค่า ความยาวห้องผสมสูงสุดที่ตำแหน่งระยะห่างหัวฉีด 42 มิลลิเมตร เป็นตำแหน่งที่ให้ความเร็วการเหนี่ยวนำอากาศสูงสุด เมื่อเพิ่มระยะห่างหัวฉีดจนถึง 90 มิลลิเมตร ความเร็วการเหนี่ยวนำคงที่

จากชุด D การเหนี่ยวนำอากาศจากติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสมโดยไม่มีดิฟฟิวเซอร์ ความเร็วการเหนี่ยวนำอากาศเพิ่มขึ้นของความยาวห้องผสม 300 และ 400 มิลลิเมตร และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยของความยาวห้องผสม 500 มิลลิเมตร แต่ยังคงความเร็วการเหนี่ยวนำอากาศสูงสุดที่ระยะห่างหัวฉีด 42 มิลลิเมตร เป็นตำแหน่งที่ให้ความเร็ว การเหนี่ยวนำอากาศสูงสุดจากการปรับค่าระยะห่างหัวฉีด 12 ค่า และ 3 ค่า ความยาวห้องผสม

ผู้วิจัยเลือกชุด A จากไม่ติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสม โดยมีดิฟฟิวเซอร์ของความยาวห้องผสม 400 มิลลิเมตร (Ab) ที่ระยะห่างหัวฉีด 42 มิลลิเมตร ไปทำการทดสอบหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจนตามมาตรฐานการทดสอบเครื่องเติมอากาศที่สภาวะไม่เสถียร (unsteady state tests) โดยวิธีการเติมอากาศใหม่ในน้ำสะอาดที่ไม่มีออกซิเจน (reaeration of deoxygenation clean water)



ภาพประกอบ 43 แสดงความสัมพันธ์ความเร็วของการเหนี่ยวนำอากาศรวมต่อการปรับระยะห่างหัวฉีดชนิดรูป

การศึกษาจากผลการทดลองการเหนี่ยวนำอากาศจากหัวฉีดร่วมชนิดปากผาย

จากตาราง 2 ความเร็วการเหนี่ยวนำอากาศโดยใช้หัวฉีดชนิดปากผายไม่มีการติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสมโดยมีดีฟิวเซอร์ จากตารางชุดนี้มีค่าความเร็วของการเหนี่ยวนำอากาศในช่วง 1.9 - 2.7 เมตรต่อวินาที หรือ 382.93 - 544.16 ลิตรต่อนาทีโดยปริมาตร โดยสังเกตว่าระยะห่างของหัวฉีดร่วมต่อทางเข้าห้องผสมของการปรับตามค่า 12 ค่าระยะห่าง มีความแตกต่างกันอย่างเด่นชัดของความเร็วการเหนี่ยวนำอากาศ เมื่อระยะห่างของหัวฉีดร่วมเพิ่มขึ้นส่งผลต่อความเร็วเหนี่ยวนำให้สูงขึ้น เมื่อระยะห่างหัวฉีดร่วมถูกปรับให้อยู่ในช่วง 42 - 90 มิลลิเมตร เห็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ส่วนการปรับความยาวห้องผสมทั้ง 3 ค่า มีความแตกต่างของการเหนี่ยวนำอากาศกันเล็กน้อย คือมีความต่างกันของความเร็วไม่เกิน 0.1 เมตร ต่อวินาที หรือ 20.15 ลิตรต่อนาที โดยปริมาตรของแต่ละความยาวห้องผสมจากระยะห่างเดียวกันของหัวฉีดร่วม

จากตาราง 2 ความเร็วการเหนี่ยวนำที่เกิดจากการไม่ติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสมโดยไม่ดีฟิวเซอร์ จากตารางชุดนี้มีค่าความเร็วของการเหนี่ยวนำอากาศในช่วง 1.1 - 2.4 เมตรต่อวินาที หรือ 221.69 - 483.70 ลิตรต่อนาทีโดยปริมาตร สังเกตว่า

ระยะห่างหัวฉีดร่วมต่อทางเข้าห้องผสม จากการปรับตามค่า 12 ค่าระยะห่างและ 3 ค่า ความยาวห้องผสมมีความแตกต่างกันอย่างเด่นชัดของความเร็วการเหนี่ยวนำอากาศ เมื่อการเหนี่ยวนำอากาศเกิดขึ้นสูงสุดที่ระยะห่างหัวฉีดร่วม 80 และ 90 มิลลิเมตร ทั้ง 3 ความยาวห้องผสม ให้การเหนี่ยวนำที่ 1.9 2.2 2.4 เมตรต่อวินาที โดยความยาวห้องผสม 500 มิลลิเมตร ให้ความเร็วการเหนี่ยวนำอากาศมากที่สุดทุกการเพิ่มระยะห่างหัวฉีดร่วม ตามด้วยความยาวห้องผสม 400 มิลลิเมตร ให้ค่าการเหนี่ยวนำรองลงมา และความยาวห้องผสม 300 มิลลิเมตร ให้การเหนี่ยวนำน้อยสุดทุกการเพิ่มระยะห่างหัวฉีดร่วม

จากตาราง 2 ความเร็วการเหนี่ยวนำอากาศที่เกิดจากการติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสมโดยมีดีฟฟิวเซอร์ จากตารางชุดนี้มีค่าความเร็วของการเหนี่ยวนำอากาศ ในช่วง 0.8 - 1.8 เมตรต่อวินาที หรือ 161.23 - 362.77 ลิตรต่อนาที โดยปริมาตร สังเกตว่าระยะห่างหัวฉีดร่วมต่อทางเข้าห้องผสม จากการปรับตามค่า 12 ค่าระยะห่างและ 3 ค่า ความยาวห้องผสม มีความแตกต่างกันของความเร็วการเหนี่ยวนำอากาศ เมื่อการเหนี่ยวนำอากาศเกิดขึ้นสูงสุดที่ระยะห่างหัวฉีดร่วม 80 และ 90 มิลลิเมตร ทั้ง 3 ความยาวห้องผสม คือให้การเหนี่ยวนำที่ 1.4 1.5 1.8 เมตรต่อวินาที โดยความยาวห้องผสม 500 มิลลิเมตร ให้ค่าความเร็วการเหนี่ยวนำอากาศมากที่สุด ตามด้วยความยาวห้องผสม 400 มิลลิเมตร ให้ค่าการเหนี่ยวนำรองลงมา และความยาวห้องผสม 300 มิลลิเมตร ให้การเหนี่ยวนำน้อยสุดของความยาวห้องผสมทั้ง 3 ค่า

จากตาราง 2 ความเร็วการเหนี่ยวนำอากาศที่เกิดจากการติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสมโดยไม่มีดีฟฟิวเซอร์ จากตารางชุดนี้มีค่าความเร็วของการเหนี่ยวนำอากาศในช่วง 1.0 - 1.8 เมตรต่อวินาที หรือ 201.54 - 362.77 ลิตรต่อนาที โดยปริมาตร สังเกตว่าระยะห่างหัวฉีดร่วมต่อทางเข้าห้องผสม จากการปรับตามค่า 12 ค่าระยะห่างและ 3 ค่า ความยาวห้องผสม มีความแตกต่างกันของความเร็วการเหนี่ยวนำอากาศ เมื่อการเหนี่ยวนำอากาศเกิดขึ้นสูงสุดที่ระยะห่างหัวฉีดร่วม 80 และ 90 มิลลิเมตร ทั้ง 3 ความยาวห้องผสม คือการเหนี่ยวนำที่ 1.4 1.6 1.8 เมตรต่อวินาที โดยความยาวห้องผสม 500 มิลลิเมตร ให้ค่าความเร็วการเหนี่ยวนำอากาศมากที่สุด ตามด้วยความยาวห้องผสม 400 มิลลิเมตร ให้ค่าการเหนี่ยวนำรองลงมาและความยาวห้องผสม 300 มิลลิเมตรให้การเหนี่ยวนำน้อยที่สุดของความยาวห้องผสมทั้ง 3 ค่า และเป็นที่น่าสังเกตว่าความเร็วการเหนี่ยวนำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะห่างหัวฉีดเพิ่มขึ้น ความต่างการเหนี่ยวนำแต่ละความยาวห้องผสมคิดเป็น 20.15 ลิตร โดยปริมาตร และเพิ่มขึ้นเป็น 40.31 ลิตร ที่ระยะห่าง 80 90 มิลลิเมตร ของหัวฉีดร่วม

จากตาราง 2 ความเร็วการเหนี่ยวนำอากาศรวม การทดสอบโดยใช้หัวฉีดร่วมชนิดปากผาย จากไม่มีการติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสมโดยมีดีฟฟิวเซอร์ แทนด้วยสัญลักษณ์ A ไม่มีการติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสมโดยไม่มีดีฟฟิวเซอร์ แทนด้วย

สัญลักษณ์ B ติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสมโดยมีดิวไฟเซอร์ แทนด้วยสัญลักษณ์ C และติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสมโดยไม่มีดิวไฟเซอร์ แทนด้วยสัญลักษณ์ D ภายใต้การปรับระยะห่างหัวฉีดร่วม 12 ค่าระยะห่างที่ -20 -10 0 20 30 42 50 60 70 80 และ 90 มิลลิเมตร ของความยาวห้องผสม 300 มิลลิเมตร แทนด้วยสัญลักษณ์ a ความยาวห้องผสมที่ 400 มิลลิเมตร แทนด้วยสัญลักษณ์ b และความยาวห้องผสมที่ 500 มิลลิเมตร แทนด้วยสัญลักษณ์ c จากตารางรวมนี้มีค่าความเร็วของการเหนี่ยวนำอากาศในช่วง 0.8 - 2.7 เมตรต่อวินาทีหรือ 161.23 - 544.16 ลิตรต่อนาที โดยปริมาตร ที่ซึ่งแบ่งการทดสอบ ดังภาพประกอบ 44

สรุป จากชุด A การเหนี่ยวนำอากาศจากไม่มีการติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสมโดยไม่มีดิวไฟเซอร์ มีความเร็วการเหนี่ยวนำอากาศในช่วง 1.9 - 2.7 เมตรต่อวินาที หรือ 382.93 - 544.16 ลิตรต่อนาที โดยปริมาตร ที่ความยาวห้องผสม 500 มิลลิเมตร (Ac) ความเร็วการเหนี่ยวนำอากาศเพิ่มขึ้นทุกการปรับค่าระยะห่างหัวฉีดร่วมจนถึงระยะห่าง 90 มิลลิเมตร เป็นตำแหน่งการเหนี่ยวนำอากาศสูงสุดคือ 2.7 เมตรต่อวินาที หรือ 544.16 ลิตรต่อนาที โดยปริมาตร

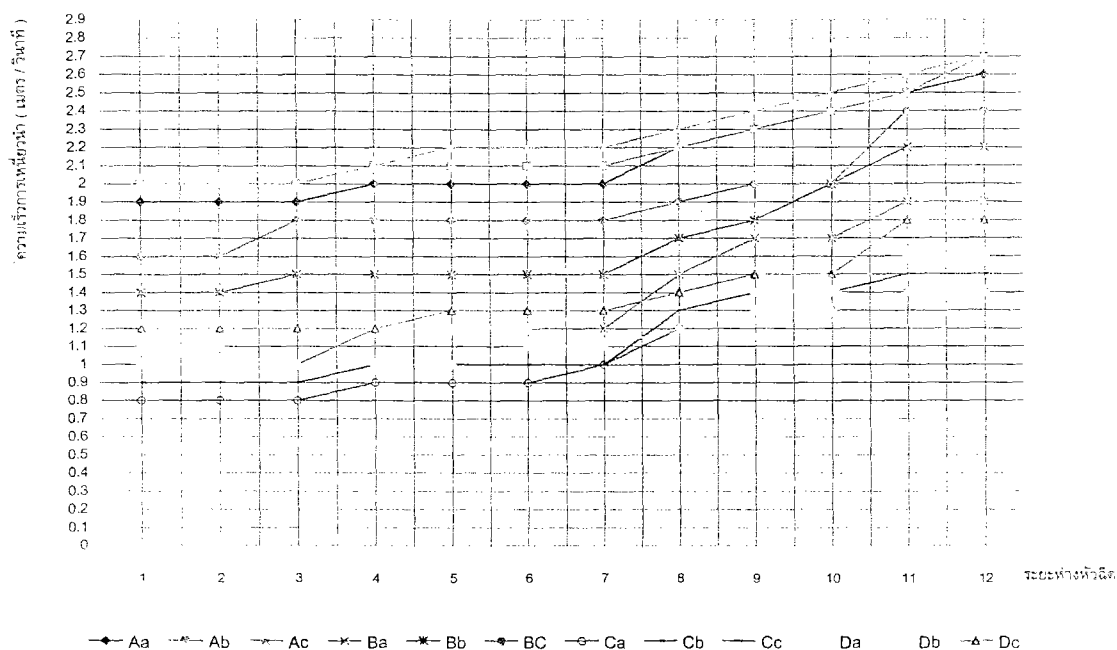
จากชุด B การเหนี่ยวนำอากาศจากไม่มีการติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสมโดยไม่มีดิวไฟเซอร์ การเหนี่ยวนำอากาศลดลงอย่างเด่นชัด มีความเร็วในช่วง 1.1 - 2.4 เมตรต่อวินาที หรือ 221.69 - 483.70 ลิตรต่อนาที โดยปริมาตร การเหนี่ยวนำสูงสุดยังคงอยู่ที่ความยาวห้องผสม 500 มิลลิเมตร (Bc) ความเร็วการเหนี่ยวนำอากาศเพิ่มขึ้นทุกการปรับค่าระยะห่าง จนถึงระยะห่าง 80 และ 90 มิลลิเมตร เป็นตำแหน่งเหนี่ยวนำอากาศสูงสุดคือ 2.4 เมตรต่อวินาที หรือ 483.70 ลิตรต่อนาที โดยปริมาตร

จากชุด C การเหนี่ยวนำอากาศจากมีการติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสม โดยมีดิวไฟเซอร์ ยังคงลดลงจนมีความเร็วในช่วง 0.8 - 1.8 เมตรต่อวินาที หรือ 161.23 - 362.77 ลิตรต่อนาที โดยปริมาตร การเหนี่ยวนำสูงสุดยังคงค่าความยาวห้องผสม 500 มิลลิเมตร Cc ความเร็วการเหนี่ยวนำอากาศเพิ่มขึ้นทุกการปรับค่าระยะห่าง จนถึงระยะห่าง 80 และ 90 มิลลิเมตร เป็นตำแหน่งเหนี่ยวนำอากาศสูงสุดคือ 1.8 เมตรต่อวินาที หรือ 362.77 ลิตรต่อนาที โดยปริมาตร

จากชุด D การเหนี่ยวนำอากาศจากติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสมโดยไม่มีดิวไฟเซอร์ การเหนี่ยวนำอากาศเพิ่มขึ้นเล็กน้อยทุกการปรับค่าระยะห่าง โดยเกิดการเหนี่ยวนำอากาศสูงสุดยังคงค่าความยาวห้องผสม 500 มิลลิเมตร (Dc) ที่ระยะห่างหัวฉีดร่วมเดียวกันกับชุด C

ผู้วิจัยเลือกชุด C จากติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสมโดยมีดิวไฟเซอร์ของความยาวห้องผสม 500 มิลลิเมตร (Cc) ที่ระยะห่างหัวฉีดร่วม 90 มิลลิเมตร ไปทำการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจนตามมาตรฐานการทดสอบเครื่องเติมอากาศที่

สภาวะไม่เสถียร (unsteady state tests) โดยวิธีการเติมอากาศใหม่ในน้ำสะอาดที่ไม่มีออกซิเจน (reaeration of deoxygenation clean water) ต่อไป



ภาพประกอบ 44 แสดงความสัมพันธ์ความเร็วการแพร่ผ่านอากาศรวมต่อการปรับระยะห่างหัวฉีดรวมชนิดปากผาย

3.2 ผลการทดสอบกรวยเติมอากาศในบ่อทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจนของกรวยเติมอากาศที่สร้างขึ้นในงานวิจัย โดยวิธีการเติมอากาศใหม่ในน้ำสะอาดให้การไหลของน้ำภายในบ่อไหลวนแบบทดแทน ต่อเนื่องในขณะทำการเติมอากาศที่สภาวะไม่เสถียร จากหัวฉีดชนิดรูตีบ ไม่ติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสม โดยมีตีฟฟิวเซอร์ของความยาวห้องผสม 400 มิลลิเมตร (Ab) ระยะห่างหัวฉีด 42 มิลลิเมตร การหาสภาวะการทดสอบของหัวฉีดชนิดรูตีบได้ผลดังนี้

1. ผลสภาวะการทดสอบกรวยเติมอากาศ

- 1.1 ปริมาณน้ำในบ่อทดสอบ 6 ลูกบาศก์เมตร
- 1.2 ถู้อความดัน ณ บริเวณที่ทำการทดสอบประมาณ 1 บรรยากาศ
- 1.3 อุณหภูมิของน้ำในบ่อทดสอบขณะทดสอบ 28.9 องศาเซลเซียส
- 1.4 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอิ่มตัว (C_s) เฉลี่ย 7.7 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 1.5 แรงดันไฟฟ้า 215 โวลท์

1.6 กระแสไฟฟ้า 4.5 แอมแปร์

1.7 ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ 73.30 เปอร์เซนต์

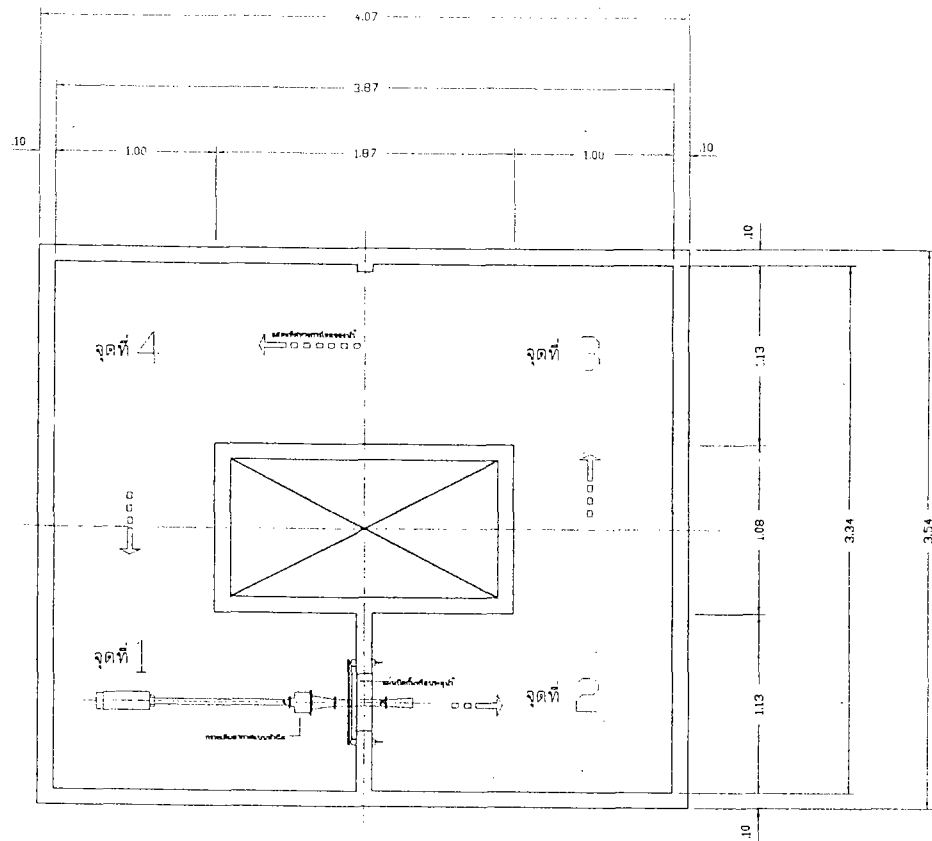
1.8 ค่าประสิทธิภาพมอเตอร์ 72.35 เปอร์เซนต์

2. ผลการคำนวณหาปริมาณโคบอลต์คลอไรด์ (CoCl_2) จากน้ำ 1 ลิตร ต้องการให้มีโคบอลต์คลอไรด์อยู่ 1.5 มิลลิกรัม

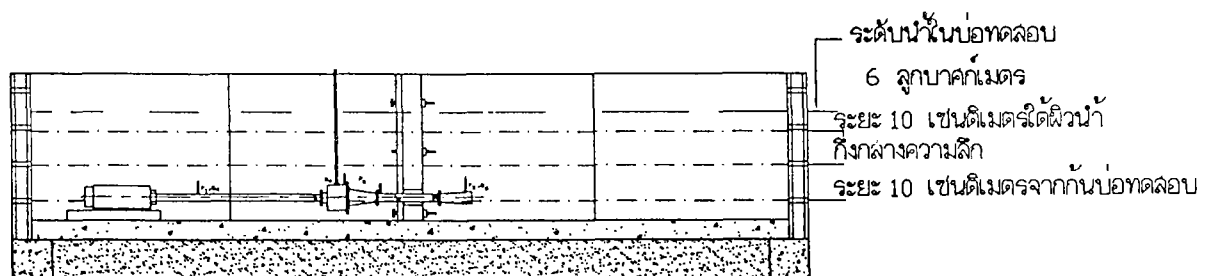
น้ำที่ใช้ในการทดสอบกรวยเติมอากาศ 6 ลูกบาศก์เมตรใช้โคบอลต์คลอไรด์คิดเป็นน้ำหนัก 9 กรัม

3. เดินเครื่องเติมอากาศเพื่อให้ความเข้มข้นของออกซิเจนของน้ำในบ่อมีค่าอิ่มตัวสูงสุดโดยใช้เวลา 45 นาที โดยพิจารณาว่าสามารถเติมอากาศลงไปในน้ำให้ได้ออกซิเจนละลายถึงร้อยละ 90

4. วัดค่าความเข้มข้นออกซิเจนละลายน้ำของน้ำในบ่อทดสอบ 4 จุด จาก 3 ระดับความลึก คือความลึก 10 เซนติเมตร ใต้ผิวน้ำ ความลึกกึ่งกลางบ่อ 27.50 เซนติเมตร และความลึก 10 เซนติเมตร จากก้นบ่อทดสอบ ตามลำดับ โดยใช้ดีไฮมิเตอร์หาปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ย เพื่อนำไปคำนวณปริมาณโซเดียมซัลไฟท์ (Na_2SO_3) ที่ต้องการใช้ ดังภาพประกอบ 45



ภาพแปลน



ภาพตัด

ภาพประกอบ 45 บ่อดลอบกับการกำหนดจุดวัดความเข้มข้นออกซิเจนละลายน้ำ 4 จุด
(ภาพแปลน) จาก 3 ระดับความลึก (ภาพตัด)

5. นำโคบอลต์คลอไรด์ 9 กรัมมาละลายน้ำในปิกเกอร์ที่สามารถจุน้ำได้ 800 cc แล้วเติมโคบอลต์คลอไรด์ลงในบ่อทดสอบทั้ง 4 จุดที่กำหนดไว้ จุดละ 200 cc จนครบ จากนั้นเปิดเครื่องเติมอากาศผสมให้เข้ากัน 1 ชั่วโมง การเปิดเครื่องเติมอากาศในครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อให้หม้อเตอร์ทำงานในสภาวะเสถียร เพื่อวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้า

6. ผลการคำนวณหาปริมาณ โซเดียมซัลไฟท์ จากความต้องการลดออกซิเจนละลาย 1 มิลลิกรัมในน้ำ 1 ลิตร ต้องใช้โซเดียมซัลไฟท์ 7.9 มิลลิกรัม

ในบ่อทดสอบมีปริมาณออกซิเจนละลายอยู่ 7.7 มิลลิกรัม จากน้ำ 6 ลูกบาศก์เมตร ใช้โซเดียมซัลไฟท์ 364.98 กรัม เพื่อให้เป็นไปในทางปฏิบัติ เติมน้ำจากค่าที่คำนวณได้ ในที่นี้ให้เพิ่มอีกร้อยละ 56 คิดเป็นน้ำหนักทั้งหมดที่ใช้ 569.36 กรัม

7. นำโซเดียมซัลไฟท์มาละลายน้ำในปิกเกอร์แล้วเทลงไปในบ่อทดสอบทั้ง 4 จุด โดยแต่ละจุดที่เทต้องเท่ากัน เปิดเครื่องเติมอากาศเป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้ น้ำในบ่อทดสอบผสมกับโซเดียมซัลไฟท์ให้ทั่วถึง

8. เปิดเครื่องเติมอากาศ เก็บข้อมูลโดยวัดค่าดีโอทุกระยะ 5 นาที ทั้ง 4 จุด จาก 3 ระดับความลึก รวมเวลา 1 ชั่วโมง สิ่งที่ได้รับ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจนที่อุณหภูมิการทดสอบ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจนที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ค่าความสามารถในการเติมออกซิเจนที่สภาวะทำการทดสอบและสภาวะมาตรฐาน ค่าการใช้พลังงานของกรวยเติมอากาศที่ใช้จริงและพลังงานที่ออกมาจากมอเตอร์ หายสุดได้ค่าประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนตามการวัดพลังงาน เมื่อเทียบกับการใช้พลังงานจริง และเทียบกับการใช้พลังงานจากมอเตอร์ ปรากฏผลดังนี้

ผลการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทอากาศ

1. ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจนที่อุณหภูมิ 28.9 องศาเซลเซียส ($K_L a$) ที่ได้รับจาก slope มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.19 ต่อชั่วโมง

2. ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจนที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ($K_L a$) ที่ได้รับมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.19 ต่อชั่วโมง

3. ค่าความสามารถในการเติมออกซิเจน (OC) ที่สภาวะทำการทดสอบอุณหภูมิ 28.9 องศาเซลเซียส ที่ได้รับเท่ากับ 0.24 กิโลกรัมออกซิเจนต่อชั่วโมง และความสามารถในการเติมออกซิเจนที่สภาวะมาตรฐานที่ได้รับเท่ากับ 0.23 กิโลกรัมออกซิเจนต่อชั่วโมง

4. ค่าการใช้พลังงานของกรวยเติมอากาศที่ใช้จริง (WHP) ที่ได้รับเท่ากับ 0.94 แรงม้า หรือคิดเป็นวัตต์เท่ากับ 706.2 วัตต์ และพลังงานที่ออกมาจากมอเตอร์ (MHP) ที่ได้รับเท่ากับ 0.67 แรงม้า หรือคิดเป็นวัตต์เท่ากับ 499.82 วัตต์

5. ค่าประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนตามหน่วยการวัดของพลังงาน เมื่อเทียบกับการใช้พลังงานจริง $(OTE)_R$ ที่ได้รับเท่ากับ 0.24 กิโลกรัมออกซิเจนต่อ แรงม้า - ชั่วโมง และเมื่อเทียบกับการใช้พลังงานจากมอเตอร์ $(OTE)_M$ เท่ากับ 0.34 กิโลกรัมออกซิเจนต่อแรงม้า - ชั่วโมง

ผลการทดสอบกรวยเติมอากาศในบ่อทดสอบ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเท ออกซิเจนของกรวยเติมอากาศที่สร้างขึ้นในงานวิจัย โดยวิธีการเดียวกันกับการทดสอบ ชุดแรก แต่ผลการทดสอบครั้งนี้ได้จากหัวฉีดร่วมชนิดปากผาย มีการติดตั้งกรวยผสมไว้ ภายในห้องผสมโดยมีดีฟิวเซอร์ของความยาวห้องผสม 500 มิลลิเมตร (Cc) ระยะห่าง หัวฉีด 90 มิลลิเมตร

ผลการหาสภาวะการทดสอบของหัวฉีดร่วมชนิดปากผายได้ผลดังนี้

1. ผลสภาวะการทดสอบกรวยเติมอากาศ

- 1.1 ปริมาณน้ำในบ่อทดสอบ 6 ลูกบาศก์เมตร
- 1.2 ถือความดัน ณ บริเวณที่ทำการทดสอบประมาณ 1 บรรยากาศ
- 1.3 อุณหภูมิของน้ำในบ่อทดสอบขณะทดสอบ 28 องศาเซลเซียส
- 1.4 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอิ่มตัว (C_s) เฉลี่ย 7 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 1.5 แรงดันไฟฟ้า 215 โวลท์
- 1.6 กระแสไฟฟ้า 4.4 แอมแปร์
- 1.7 ค่าเพอร์เวอร์แฟคเตอร์ 71.6 เปอร์เซนต์
- 1.8 ค่าประสิทธิภาพมอเตอร์ 74 เปอร์เซนต์

2. ผลการคำนวณหาปริมาณโคบอลต์คลอไรด์ ($CoCl_2$) จากน้ำ 1 ลิตร ต้องการ ให้มีโคบอลต์คลอไรด์อยู่ 1.5 มิลลิกรัม

น้ำที่ใช้ในการทดสอบกรวยเติมอากาศ 6 ลูกบาศก์เมตร ใช้โคบอลต์คลอไรด์ คิดเป็นน้ำหนัก 9 กรัม

3. เดินเครื่องเติมอากาศ เพื่อให้ความเข้มข้นของออกซิเจนของน้ำในบ่อมีค่า อิ่มตัวสูงสุดโดยใช้เวลา 45 นาที โดยพิจารณาว่าสามารถเติมอากาศลงไปในน้ำให้ได้ ออกซิเจนละลายถึงร้อยละ 90

4. วัดค่าความเข้มข้นออกซิเจนละลายน้ำของน้ำในบ่อทดสอบ 4 จุด จาก 3 ระดับความลึก คือความลึก 10 เซนติเมตรใต้ผิวน้ำ ความลึกกึ่งกลางบ่อ 27.50 เซนติเมตร และความลึก 10 เซนติเมตรจากก้นบ่อทดสอบตามลำดับ โดยใช้ดีโอมิเตอร์หาค่า ออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ยเพื่อนำไปคำนวณปริมาณโซเดียมซัลไฟท์ (Na_2SO_3) ที่ต้องการใช้

5. นำโบลท์คลอไรด์ 9 กรัม มาละลายน้ำในบีกเกอร์ที่สามารถจุน้ำได้ 800 cc แล้วเติมโบลท์คลอไรด์ลงในบ่อทดสอบทั้ง 4 จุด ที่กำหนดไว้ จุดละ 200 cc จนครบ จากนั้นเปิดเครื่องเติมอากาศผสมให้เข้ากัน 1 ชั่วโมง การเปิดเครื่องเติมอากาศในครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อให้มอเตอร์ทำงานในสถานะเสถียร เพื่อวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้า

6. ผลการคำนวณหาปริมาณโซเดียมซัลไฟท์ จากความต้องการลดออกซิเจนละลาย 1 มิลลิกรัมในน้ำ 1 ลิตร ต้องใช้โซเดียมซัลไฟท์ 7.9 มิลลิกรัม

ในบ่อทดสอบมีปริมาณออกซิเจนละลายอยู่ 7 มิลลิกรัม จากน้ำ 6 ลูกบาศก์เมตร ใช้โซเดียมซัลไฟท์ 331.80 กรัม เพื่อให้เป็นไปในทางปฏิบัติ ควรเติมให้เกินจากค่าที่คำนวณได้ ในที่นี้ใช้เพิ่มอีกร้อยละ 30 คิดเป็นน้ำหนักทั้งหมดที่ใช้ 431.34 กรัม

7. นำโซเดียมซัลไฟท์ มาละลายน้ำในบีกเกอร์ แล้วเทลงไปในบ่อทดสอบทั้ง 4 จุด โดยแต่ละจุดที่เทต้องเท่ากัน เปิดเครื่องเติมอากาศเป็นเวลา 15 นาที เพื่อให้ น้ำในบ่อทดสอบผสมกับโซเดียมซัลไฟท์ให้ทั่วถึง เมื่อครบเวลาที่กำหนดไว้จึงหยุดเครื่องให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ วัดปริมาณออกซิเจนละลายจนมีค่าเท่ากับศูนย์ ดูจากดีโอมิเตอร์

8. เปิดเครื่องเติมอากาศ เก็บข้อมูลโดยวัดค่าดีโอทุกระยะ 5 นาที ทั้ง 4 จุด จาก 3 ระดับความลึก รวมเวลา 1 ชั่วโมง สิ่งที่ได้รับ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจนที่อุณหภูมิการทดสอบ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจนที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ค่าความสามารถในการเติมออกซิเจนที่สภาวะทำการทดสอบ และสภาวะมาตรฐาน ค่าการใช้พลังงานของกรวยเติมอากาศที่ใช้จริง และพลังงานที่ออกมาจากมอเตอร์ หายสุดได้ค่าประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนตามการวัดพลังงาน เมื่อเทียบกับการใช้พลังงานจริง และเทียบกับการใช้พลังงานจากมอเตอร์ ปรากฏผลดังนี้

ผลการหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทอากาศ

1. ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจนที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ($K_L a$) ที่ได้รับจาก slope มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.50 ต่อชั่วโมง

2. ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจนที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ($K_L a$)_s ที่ได้รับมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.89 ต่อชั่วโมง

3. ค่าความสามารถในการเติมออกซิเจน (OC) ที่สภาวะทำการทดสอบ อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียสที่ได้รับ เท่ากับ 0.14 กิโลกรัมออกซิเจนต่อชั่วโมง และความสามารถในการเติมออกซิเจนที่สภาวะมาตรฐานที่ได้รับเท่ากับ 0.16 กิโลกรัมออกซิเจนต่อชั่วโมง

4. ค่าการใช้พลังงานของกรวยเติมอากาศที่ใช้จริง (WHP) ที่ได้รับเท่ากับ 0.90 แรงม้า หรือคิดเป็นวัตต์ เท่ากับ 671.6 วัตต์ และพลังงานที่ออกมาจากมอเตอร์ (MHP) ที่ได้รับเท่ากับ 0.66 แรงม้า หรือคิดเป็นวัตต์ เท่ากับ 492.36 วัตต์

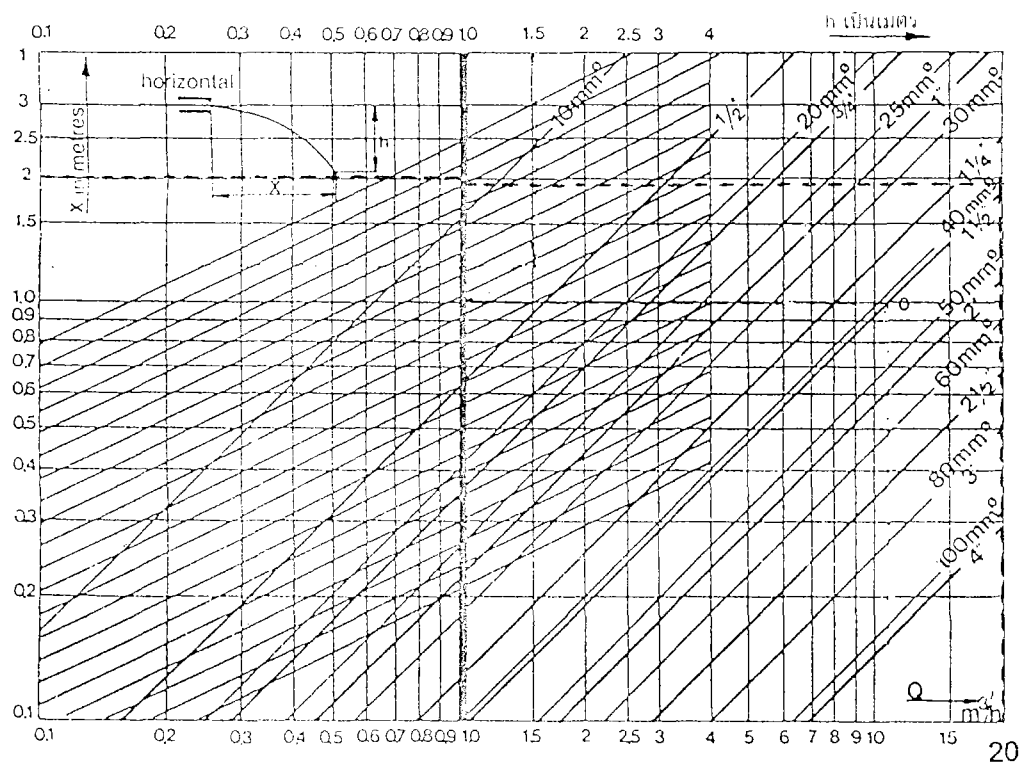
5. ค่าประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนตามหน่วยการวัดของพลังงาน เมื่อเทียบกับการใช้พลังงานจริงที่ได้รับ $(OTE)_R$ เท่ากับ 0.17 กิโลกรัมออกซิเจนต่อ แรงม้า - ชั่วโมง และเมื่อเทียบกับการใช้พลังงานจากมอเตอร์ $(OTE)_M$ เท่ากับ 0.24 กิโลกรัมออกซิเจนต่อแรงม้า - ชั่วโมง

ขั้นตอนที่ 4 ผลการทดลองความสามารถของกรวยเติมอากาศในการใช้งาน โดยวิธีการไหลแบบไหลวน

4.1 วัดอัตราการไหลของเครื่องสูบบแบบได้น้ำ โดยต่อท่อเข้ากับท่อส่งในตำแหน่งแนวราบ วัดความสูงจากระดับพื้นไปยังศูนย์กลางของท่อแทนด้วยสัญลักษณ์ h และในระหว่างการสูบน้ำวัดความยาวจากทางออกของท่อไปยังจุดกระทบพื้น แทนด้วยสัญลักษณ์ x ด้วยค่าทั้งสองนี้สามารถประมาณการไหลจากไดอะแกรมสำหรับตรวจสอบ การไหลและท่อส่งน้ำต้องปล่อยน้ำเหมือนหัวฉีดและต้องไหลเต็มท่อ ดังภาพประกอบ 46

ผลการหาอัตราการไหลให้ผลดังนี้

วัดความสูงจากระดับพื้นไปยังศูนย์กลางของท่อ (h) เท่ากับ 1 เมตร ในระหว่างการสูบน้ำวัดความยาวของลำน้ำจากทางออกของปลายท่อไปยังจุดกระทบพื้น (x) เท่ากับ 2 เมตร ในขณะที่ท่อทางออกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มิลลิเมตร (1.5 นิ้ว) เมื่อนำค่าที่ได้ไปพล็อตลงในไดอะแกรมสำหรับตรวจสอบการไหล (ศูนย์การศึกษานานาชาติ - กรูนท์ฟอส บริษัทกรูนท์ฟอส ประเทศไทย. 2531 : 28 - 29) ได้อัตราการไหลที่เครื่องสูบบแบบได้น้ำทำได้ $(Q) \approx 20$ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง



20

ภาพประกอบ 46 ไดอะแกรมสำหรับตรวจสอบการไหล

4.2 ผลการทดลองเติมอากาศให้กับแหล่งน้ำภูมิสถาปัตยกรรม

การปรับปรุงน้ำเสียในแหล่งน้ำภูมิสถาปัตยกรรมให้คุณภาพน้ำทางกายภาพ เช่น ความขุ่น และคุณภาพน้ำทางเคมี เช่น ปริมาณออกซิเจนละลายดีขึ้นหลังจากการเติมอากาศ ได้ทดลองโดยสูบน้ำจากแหล่งน้ำเข้าบ่อเติมอากาศให้มีปริมาตร 3 ลูกบาศก์เมตร เติมอากาศจากชุดหัวฉีดร่วมชนิดปากผายของความยาวห้องผสม 500 มิลลิเมตร (Cc) ที่ระยะห่างหัวฉีดร่วม 90 มิลลิเมตร โดยใช้เวลาเติมอากาศ 30 60 และ 180 นาที ตามลำดับ ทิ้งไว้ 1 คืน วัดความขุ่นด้วยเครื่องมือวัดความขุ่น Turbidimeter รุ่น 2100 p ของ HACH และวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนละลายด้วย วิธีการไตเตรต (titration) ปรากฏผลดังตาราง 3

ตาราง 3 ค่าความขุ่นและปริมาณออกซิเจนละลายก่อนและหลังการเติมอากาศ

เวลาที่เติมอากาศ (นาที)	ค่าความขุ่น		ปริมาณออกซิเจนละลาย	
	ก่อนเติมอากาศ (NTU)	หลังเติมอากาศ ทิ้งไว้ 1 คืน (NTU)	ก่อนเติมอากาศ (mg/l)	หลังเติมอากาศ ทิ้งไว้ 1 คืน (mg/l)
30	42.0	5.45	0.8	7.8
60	42.0	2.79	0.8	8.8
180	38.1	3.40	0.8	9.4

จากตาราง 3 พบว่า ความขุ่นของน้ำก่อนเติมอากาศมีค่าความขุ่น 42.0 NTU จาก 2 วัน ของการทดลอง ส่วนในวันที่ 3 ค่าความขุ่นลดลงเป็น 38.1 NTU ค่าความขุ่นที่ลดลงนั้น ยังคงจัดเป็นน้ำขุ่นปานกลางเดียวกัน ส่วนความขุ่นหลังการเติมอากาศเป็นเวลา 30 60 และ 180 นาที แล้วทิ้งไว้ 1 คืน วัดค่าความขุ่นได้ 5.45 2.79 และ 3.40 ตามลำดับ จัดเป็นน้ำใส

ในด้านปริมาณออกซิเจนละลายก่อนเติมอากาศ พบว่า มีปริมาณออกซิเจนละลายในแหล่งน้ำเป็นศูนย์มิลลิกรัมต่อลิตร ในตอนเช้า และ 0.8 มิลลิกรัมต่อลิตรในช่วงบ่าย เมื่อทำการเติมอากาศเป็นเวลา 30 60 และ 180 นาที แล้วทิ้งไว้ 1 คืน วัดปริมาณออกซิเจนละลายได้ 7.8 8.8 และ 9.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

เมื่อเทียบเป็นปริมาณอากาศที่เติมลงไปในพื้นที่เวลาต่างกันคือ 30 60 และ 180 นาที มีปริมาณอากาศเท่ากับ 10883.10 21766.20 และ 65298.60 ลิตร ตามลำดับ คิดเป็นอัตราการเติมอากาศลงในน้ำโดยปริมาตร ต่อน้ำที่ถูกเติมอากาศมีปริมาตร 3 ลูกบาศก์เมตร เท่ากับ 3.62 : 1 7.25 : 1 และ 21.76 : 1 โดยปริมาตร

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การออกแบบสร้างกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด ได้ดำเนินการตามลำดับดังต่อไปนี้

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบสร้างกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด
2. เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด
3. เพื่อทดสอบหาความสามารถของเครื่องเติมอากาศในการใช้งานด้วยวิธีเติมอากาศให้ทั่วเนื้อของปริมาณน้ำเสียจากแหล่งน้ำในงานภูมิสถาปัตยกรรม

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง ดังนั้นเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย แยกเป็นเครื่องมือหลัก ได้แก่ ชุดกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีดที่ได้รับการออกแบบไว้ และบ่อทดสอบแบบไหลวน

เครื่องมือวัด ได้แก่ เครื่องมือวัดความเร็วลม รุ่น : DA - 42 ดีโอมิเตอร์ รุ่น OXI 320 เครื่องมือวัดความชื้น รุ่น 2100 p ของ HACH

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนละลายด้วยการไตเตรต โดยวิธีการของ Winkler Method ได้แก่ ขวดบีโอดี ขนาด 300 ลูกบาศก์เซนติเมตร กระบอกตวง ขนาด 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ฟลาสก์ ขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปิเปตต์ ขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร บิวเรตต์ ขนาด 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร และชุดเครื่องแก้วอื่น ๆ เป็นต้น

การดำเนินการวิจัย

การออกแบบสร้างกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีดพร้อมทั้งดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพในด้านต่าง ๆ สามารถสรุปการดำเนินการได้ดังนี้

1. ศึกษารูปแบบและหลักการทำงานของเครื่องเติมอากาศที่ปรากฏ ซึ่งใช้กับงานบำบัดน้ำเสีย และที่มีใช้อยู่ในงานภูมิสถาปัตยกรรม และระดับเทคโนโลยีของเครื่องเติมอากาศ
2. ศึกษาวัสดุและอุปกรณ์ที่มีภายในประเทศ
3. ศึกษาวิธีทดสอบเครื่องเติมอากาศจากหลายวิธีที่มีอยู่พร้อมทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

4. เลือกรูปแบบของเครื่องเติมอากาศที่ต้องการออกแบบสร้างให้สอดคล้องกับแนวความคิด
5. ศึกษาหลักการของส่วนประกอบของเครื่องเติมอากาศที่เลือกออกแบบ
6. ออกแบบส่วนประกอบของกรวยที่จะทำการสร้างในกระดาษร่าง
7. นำแบบร่างมากำหนดสเกลโดยใช้คอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการออกแบบ (CAD) พร้อมทั้งสร้างแบบจำลอง 2 มิติ เป็น Files สไลด์ เพื่อกำหนดสภาวะจริงเสมือนจากพฤติกรรมของเครื่องเพื่อช่วยให้ผู้วิจัยได้เห็นภาพที่ชัดเจน
8. ปรับแบบจำลอง 2 มิติ เป็น 3 มิติ จากส่วนประกอบของกรวยโดยใช้คอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการออกแบบ
9. นำแบบของส่วนประกอบที่ออกแบบไว้ในมาตราส่วน 1 : 1 ไปพล็อตลงกระดาษไขและนำกระดาษไขไปถ่ายเป็นพิมพ์เขียวเพื่อนำไปกลึงเป็นชิ้นงานต่อไป
10. สร้างบ่อทดสอบโดยให้น้ำภายในบ่อขณะทำการเติมอากาศไหลวน
11. จากแบบเมื่อกลึงเป็นชิ้นงานแล้วได้หัวฉีดชนิดรูตีบ 1 ชิ้น พร้อมท่อขับหัวฉีดชนิดปากผาย 1 ชิ้น ห้องดูด 1 ชิ้น กรอบห้องดูด 1 ชิ้น ทางเข้าห้องผสม 1 ชิ้น ห้องผสม 2 ชิ้น ดิฟฟิวเซอร์ 1 ชิ้น และเกลียวผสมสร้างโดยการนำแผ่นอะคริลิกมาให้ความร้อนแล้วดัดเป็นเกลียวที่ไขว้พันกัน
12. ประกอบส่วนของกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีดและติดตั้งอุปกรณ์วัด
13. ทดสอบหาปริมาณการเหนี่ยวนำอากาศ จากการปรับระยะห่างหัวฉีดชนิดรูตีบ และหัวฉีดร่วมชนิดปากผาย 12 ค่า ของการมีอยู่และไม่มีอยู่ของเกลียวผสมภายในห้องผสมที่ความยาวห้องผสม 3 ค่า ทั้งที่มีการติดตั้งและไม่ติดตั้งดิฟฟิวเซอร์
14. ทดสอบประสิทธิภาพของกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด
15. ทดลองหาความสามารถในการใช้งานกับน้ำจากแหล่งภูมิสถาปัตยกรรม
16. สรุปผลการทดลองหาประสิทธิภาพของกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด ด้านการเหนี่ยวนำอากาศที่เกิดจากหัวฉีดทั้ง 2 ชนิด สัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน ความสามารถในการเติมออกซิเจน การใช้พลังงานของกรวยเติมอากาศ ประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนตามการวัดพลังงาน และค่าความขุ่นกับปริมาณออกซิเจนละลายก่อนและหลังเติมอากาศที่เวลาต่างกัน

การทดลอง

การออกแบบสร้างกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด ประการแรกเพื่อหาปริมาตรเหนียวน้ำอากาศโดยให้ของไหลขับผ่านหัวฉีดชนิดรูตีบและหัวฉีดร่วมชนิดปากผายที่ระยะห่างทางเข้าห้องผสม 12 ค่า ของความยาวห้อง 3 ค่า ทั้งที่มีและไม่มี การติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสม พร้อมกับติดตั้งและไม่ติดตั้งดิฟเฟอร์เซอร์ โดยแต่ละหัวฉีดแบ่งเป็น 4 ชุด การทดลองรวม 8 ชุด การทดลอง ดังตาราง 1 และ 2 จากนั้นพิจารณาชุดที่มีการเหนียวน้ำสูงสุดไปสู่การหาประสิทธิภาพของเครื่องจาก 15 ขั้นตอน ตามมาตรฐานการทดสอบเครื่องเติมอากาศที่สภาวะไม่เสถียรโดยวิธีการเติมอากาศใหม่ในน้ำสะอาดที่ไม่มีออกซิเจน และศึกษาความสามารถของเครื่องเติมอากาศในการใช้งานโดยวิธีเติมอากาศให้ทั่วเนื้อของปริมาณน้ำ ทดลองโดยสูบน้ำจากแหล่งน้ำในงานภูมิสถาปัตยกรรมเข้าบ่อเติมอากาศให้มีปริมาตร 3 ลูกบาศก์เมตร ที่ซึ่งการทดลองดังกล่าวอยู่ภายใต้ข้อดกลงเบื้องต้น

การวิเคราะห์ข้อมูล

พิจารณาผลการเหนียวน้ำอากาศสูงสุดที่ได้รับจากการปรับระยะห่างหัวฉีดทั้ง 2 ชนิด ค่าของการมีอยู่และไม่มีอยู่ของเกลียวผสมภายในห้องผสม ที่ความยาวห้องผสม 3 ค่า ทั้งที่มีการติดตั้งและไม่ติดตั้งดิฟเฟอร์เซอร์จาก 8 ชุดการทดลอง แยกเป็นชุดการทดลองละ 3 ชุดการทดสอบ รวมทั้งสิ้น 24 การทดสอบการเหนียวน้ำอากาศ

วิเคราะห์หาประสิทธิภาพของกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด ตามมาตรฐานการทดสอบเครื่องเติมอากาศที่สภาวะไม่เสถียร โดยวิธีการเติมอากาศใหม่ในน้ำสะอาดที่ไม่มีออกซิเจน โดยต้องวัดปริมาณออกซิเจนละลายจาก 12 จุด แล้วนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์ การถ่ายเทออกซิเจนเฉลี่ย หรือ $K_L a$ เฉลี่ยส่วนการวิเคราะห์ความสามารถของเครื่องเติมอากาศในการใช้งาน ด้วยวิธีการเติมอากาศให้ทั่วเนื้อของปริมาณน้ำเสียจากแหล่งน้ำในงานภูมิสถาปัตยกรรม พิจารณาจากความชุ่มและปริมาณออกซิเจนละลาย อัตราการเติมอากาศพิจารณาจากการเติมอากาศลงในน้ำโดยปริมาตร จากน้ำที่ถูกเติมอากาศ 3 ลูกบาศก์เมตร

สรุปผลการวิจัย

1. ลักษณะของกรวยเดิมอากาศที่สร้างขึ้น

1.1 ส่วนของหัวฉีดขับ

1.1.1 หัวฉีดชนิดรูปตีบ สร้างจากซูพีลีนไนลอน เบอร์ 6 ได้เส้นผ่านศูนย์กลางทางออก 21 มิลลิเมตร โดยรูปแบบของหัวฉีดมีลักษณะเรียวเหมือนกรวยมุมตัดมุม semicone ให้ค่าที่ 10 องศา มุมรวมทั้งหมด 20 องศา ได้อัตราเรียวของหัวฉีด 1: 3 และอัตราเรียว 1: 6 โดยทางเข้าของหัวฉีดถูกออกแบบให้เป็นส่วนหนึ่งของท่อขับ

1.1.2 หัวฉีดร่วมชนิดปากผาย สร้างจากซูพีลีนไนลอน เบอร์ 6 ตัวหัวฉีดชนิดปากผายมีความยาว 67 มิลลิเมตร หน้าตัด 47 มิลลิเมตร ตลอดหัวฉีดสวมต่อหัวฉีดชนิดปากผายกับหัวฉีดชนิดรูปตีบด้วยเกลียว จากทางออกของหัวฉีดชนิดรูปตีบไปยังหัวฉีดชนิดปากผายยังคงค่าเส้นผ่านศูนย์กลาง 21 มิลลิเมตร เรื่อยมาจนถึงความยาว 35 มิลลิเมตร การโค้งตัวขยายภายในหัวฉีดชนิดปากผายก็จะเกิดขึ้นจนถึงค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางที่ 30 มิลลิเมตร คือค่าที่ต้องการโดยสอดคล้องกับหัวฉีดชนิดรูปตีบอย่างแท้จริง จึงให้ชื่อว่าหัวฉีดชนิดคอนเวจันไดเวจัน หรือเรียกสั้น ๆ ว่า หัวฉีด ซี - ดี ที่สามารถเหนี่ยวนำอากาศได้สูงกว่าการมีอยู่ของหัวฉีดชนิดรูปตีบเพียงอย่างเดียว

1.2 ส่วนของห้องดูดและครอบห้องดูด สร้างจากซูพีลีนไนลอน เบอร์ 6 ได้เส้นผ่านศูนย์กลางภายในห้องดูด 84 มิลลิเมตร ตามทางเข้าห้องผสมไปจนถึงความยาวที่ 118 มิลลิเมตร จากนั้นฉากลงเพื่อให้ได้เส้นผ่านศูนย์กลาง 49 มิลลิเมตร ไปจนถึงความยาวที่ 45 มิลลิเมตร กลึงเกลียวในเพื่อติดตั้งหัวฉีดเพื่อปรับค่าแล้วกลึงเกลียวนอกเพื่อสวมต่อครอบห้องดูด จากนั้นแบ่งห้องดูดเป็น 4 ส่วน ทำมุม 0 90 180 270 องศาจากเส้นศูนย์กลาง เจาะรูป 4 รู ของแต่ละส่วน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ครอบห้องดูด สร้างจากซูพีลีนไนลอน เบอร์ 6 ได้เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายใน 140 มิลลิเมตรไปจนถึงความยาว 106 มิลลิเมตร ส่วน 37 มิลลิเมตรที่เหลือ เป็นความหนา ส่วนฐานของตัวครอบห้องดูดเพื่อใช้รับน้ำหนักของตัวครอบห้องดูดเอง และน้ำหนักของส่วนประกอบรัดแยกที่ติดตั้งบนตัวครอบห้องดูดเพื่อติดตั้งท่อเหนี่ยวนำต่อไป รวมความยาวทั้งหมดของตัวครอบห้องดูดเท่ากับ 143 มิลลิเมตร

เมื่อสวมต่อครอบห้องดูดกับห้องดูดโดยการหมุนเกลียวจนหน้าแปลนของทั้งสองส่วนสัมผัสกันก็จะเกิดพื้นที่ว่างภายใน 20 มิลลิเมตร ตลอดความยาว 106 มิลลิเมตร เป็นผลให้อากาศที่ถูกเหนี่ยวนำด้วยวิธีการของหัวฉีดผ่านท่อเหนี่ยวนำกระจายทั่วพื้นที่ว่างภายใน จากนั้นก็เข้าสู่พื้นที่รูปวงแหวนโดยผ่านรูเจาะบนผนังห้องดูดทั้ง 4 ส่วน เพื่อการผสมระหว่างลำน้ำกับอากาศในห้องผสมต่อไป

1.3 ส่วนของทางเข้าห้องผสม สร้างจากซูพีลีนไนลอน เบอร์ 6 ได้เส้นผ่านศูนย์กลางภายในโตสุด 84 มิลลิเมตร ค่ามุม suction cone มีความเป็นลักษณะเดียวกันกับมุม semicone ของหัวฉีดชนิดรูปคือ 10 องศา มุมรวมทั้งหมด 20 องศา ฉะนั้นจะได้ความยาวของทางเข้าห้องผสมที่ 98 มิลลิเมตร ตรงตำแหน่งเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กสุดของทางเข้าห้องผสมที่ 50 มิลลิเมตร ได้อัตราเรียวของทางเข้าห้องผสม 1 : 3 และอัตราเรียว 1 : 6

1.4 ส่วนของห้องผสม สร้างจากซูพีลีนไนลอน เบอร์ 6 ได้เส้นผ่านศูนย์กลางภายในห้องผสม จากการคำนวณ 46.95 มิลลิเมตร ค่าที่ได้ถูกปรับเป็น 50 มิลลิเมตร เพื่อให้สอดคล้องกับขนาดของท่อพีวีซี ชั้นคุณภาพที่ 13.5 ห้องผสมถูกแบ่งเป็น 2 ชั้น ความยาวละ 100 มิลลิเมตร

1.5 ส่วนของดีฟิวเซอร์ สร้างจากซูพีลีนไนลอน เบอร์ 6 ใช้เส้นผ่านศูนย์กลางเล็กสุดเดียวกันกับห้องผสมคือ 50 มิลลิเมตร มุม semicone ที่ 2.5 องศา มุมรวมทั้งหมด 5 องศา ความยาวทั้งหมดของดีฟิวเซอร์เท่ากับ 245 มิลลิเมตร ที่เส้นผ่านศูนย์กลางโตสุด 70 มิลลิเมตร ได้อัตราเรียวดีฟิวเซอร์ 1 : 13 และอัตราลาดเรียว 1 : 24

1.6 ส่วนของเกลียวผสม สร้างจากแผ่นอะคริลิก กว้าง 50 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร ปิดเป็นเกลียวในลักษณะไขว้พันกัน 180 องศา ได้ความยาว 100 มิลลิเมตร ซึ่งเท่ากับความยาวช่วงห้องผสมที่ได้ออกแบบไว้

2. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของกรวยเติมอากาศแบบหัวฉีด

2.1 การพิจารณาผลการทดลองหาปริมาตรการเหนี่ยวนำอากาศของกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด โดยการปรับระยะห่างหัวฉีดชนิดรูปและหัวฉีดร่วมชนิดปากผาย 12 ค่า ของความยาวห้องผสม 3 ค่า ทั้งที่มีและไม่มีการติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสม พร้อมกับติดตั้งและไม่ติดตั้งดีฟิวเซอร์ สรุปผลดังนี้

2.1.1 การเหนี่ยวนำอากาศจากการปรับระยะห่างหัวฉีดชนิดรูปจาก 4 ชุดการทดลอง 12 การทดสอบ พบว่า ชุดการทดลอง A ให้ความเร็วของการเหนี่ยวนำอากาศสอดคล้องกันทั้ง 3 ชุดการทดลอง จากการทดสอบการเหนี่ยวนำอากาศจากไม่มีการติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสมโดยมีดีฟิวเซอร์ ที่ความยาวห้องผสม 300, 400, 500 มิลลิเมตร (Aa Ab Ac) ความเร็วการเหนี่ยวนำอากาศที่ได้คือ 2 เมตรต่อวินาที หรือ 403.08 ลิตรต่อวินาทีโดยปริมาตร ที่ระยะห่างหัวฉีดต่อทางเข้าห้องผสม 42 มิลลิเมตร ณ ตำแหน่งระยะห่างหัวฉีดดังกล่าวการเพิ่มขึ้นของความยาวห้องไม่มีผลต่อการเหนี่ยวนำอากาศ และการเพิ่มขึ้นของระยะห่างหัวฉีดไม่มีผลต่อการเหนี่ยวนำอากาศที่เพิ่มขึ้น

สำหรับการทดสอบการเหนี่ยวนำอากาศจากไม่มีการติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสมโดยไม่มีดีฟฟิวเซอร์ที่มีความยาวห้องผสม 300 400 500 มิลลิเมตร (Ba Bb Bc) การทดสอบการเหนี่ยวนำอากาศจากมีการติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสมโดยมีดีฟฟิวเซอร์ที่มีความยาวห้องผสม 300 400 500 มิลลิเมตร (Cc Cb Cc) และการทดสอบการเหนี่ยวนำอากาศจากมีการติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสมโดยไม่มีดีฟฟิวเซอร์ที่มีความยาวห้องผสม 300 400 500 มิลลิเมตร (Da Db Dc) การเหนี่ยวนำอากาศลดลงอย่างเห็นได้ชัด

2.1.2 การเหนี่ยวนำอากาศจากการปรับระยะห่างหัวฉีดร่วมชนิด

ปากผาย จาก 4 ชุดการทดลอง 12 การทดสอบ พบว่า ชุดการทดลอง A การใช้หัวฉีดร่วมชนิดปากผายไม่มีการติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสมโดยมีดีฟฟิวเซอร์ที่มีความยาวห้องผสม 300 400 500 มิลลิเมตร (Aa Ab Ac) ความเร็วการเหนี่ยวนำอากาศที่เกิดจากการปรับระยะห่างหัวฉีดชั้น 12 ค่าอยู่ในช่วง 1.9 - 2.7 เมตรต่อวินาที หรือ 382.93 - 544.16 ลิตรต่อวินาทีโดยปริมาตร การเหนี่ยวนำอากาศสูงสุดอยู่ที่ระยะห่างหัวฉีดกับทางเข้าห้องผสม 90 มิลลิเมตร คือ 544.16 ลิตรต่อวินาที

จากชุดการทดลอง C การใช้หัวฉีดร่วมชนิดปากผายมีการติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสมโดยมีดีฟฟิวเซอร์ที่มีความยาวห้องผสม 300 400 500 มิลลิเมตร (Ca Cb Cc) ความเร็วการเหนี่ยวนำอากาศที่เกิดจากการปรับระยะห่างหัวฉีดชั้น 12 ค่าอยู่ในช่วง 0.8 - 1.8 เมตรต่อวินาที หรือ 161.23 - 362.77 ลิตรต่อวินาทีโดยปริมาตร การเหนี่ยวนำอากาศสูงสุดอยู่ที่ระยะห่างหัวฉีดร่วมกับทางเข้าห้องผสม 80 และ 90 มิลลิเมตรที่มีความยาวห้องผสม 500 มิลลิเมตร

สำหรับการทดสอบการเหนี่ยวนำอากาศจากไม่มีการติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสมโดยไม่มีดีฟฟิวเซอร์ที่มีความยาวห้องผสม 300 400 500 มิลลิเมตร (Ba Bb Bc) และการทดสอบการเหนี่ยวนำอากาศจากมีการติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสมโดยไม่มีดีฟฟิวเซอร์ที่มีความยาวห้องผสม 300 400 500 มิลลิเมตร (Da Db Dc) ยังคงให้การเหนี่ยวนำอากาศมากกว่าการใช้หัวฉีดชนิดรูตีบในทุกชุดการทดลองในทุกกรณี และการมีดีฟฟิวเซอร์เป็นสิ่งจำเป็นต่อกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด

เมื่อพิจารณาการเหนี่ยวนำอากาศที่เกิดจากการใช้หัวฉีดชนิดรูตีบชั้นของไหล ผู้วิจัยเลือกชุดการทดลอง A จากไม่ติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสมโดยมีดีฟฟิวเซอร์ของความยาวห้องผสม 400 มิลลิเมตร (Ab) ที่ระยะห่างหัวฉีดกับทางเข้าห้องผสม 42 มิลลิเมตร และการเหนี่ยวนำอากาศที่เกิดจากการใช้หัวฉีดร่วมชนิดปากผายชั้นของไหลเลือกชุดการทดลอง C จากมีการติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสมโดยมีดีฟฟิวเซอร์ของความยาวห้องผสม 500 มิลลิเมตร (Cc) ที่ระยะห่างหัวฉีดกับทางเข้าห้องผสม 90

มิลลิเมตร ไปทำการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศที่สภาวะไม่เสถียร โดยใช้ อุณหภูมิมาตรฐาน (standard temperature) ที่ 20 องศาเซลเซียส

2.2 ประสิทธิภาพของกรวยเติมอากาศที่ได้รับในด้านสัมประสิทธิ์การถ่ายเท ออกซิเจนจากชุดหัวฉีดชนิดรูตีบ (Ab) ที่อุณหภูมิการทดสอบ ($K_L a$)_t และอุณหภูมิ มาตรฐาน ($K_L a$)_s 28.9 20 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ยในด้านสัมประสิทธิ์การถ่ายเท ออกซิเจนเท่ากับ 5.19 และ 4.19 ต่อชั่วโมง

จากชุดหัวฉีดร่วมชนิดปากผายที่ (Cc) ที่อุณหภูมิการทดสอบ ($K_L a$)_t และ อุณหภูมิมาตรฐาน ($K_L a$)_s 28 20 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ยในด้านสัมประสิทธิ์การถ่าย เทออกซิเจนเท่ากับ 3.50 และ 2.89 ต่อชั่วโมง

2.3 ค่าความสามารถในการเติมออกซิเจน (OC) จากชุดหัวฉีดชนิดรูตีบ (Ab) ที่อุณหภูมิการทดสอบและที่สภาวะมาตรฐาน 28.9 20 องศาเซลเซียส ที่ได้รับ เท่ากับ 0.24 และ 0.23 กิโลกรัมออกซิเจนต่อชั่วโมง

จากชุดหัวฉีดร่วมชนิดปากผาย (Cc) ที่อุณหภูมิการทดสอบและที่สภาวะมาตรฐาน 28, 20 องศาเซลเซียส ที่ได้รับเท่ากับ 0.14 และ 0.16 กิโลกรัมออกซิเจนต่อชั่วโมง

2.4 ค่าการใช้พลังงานของกรวยเติมอากาศที่ใช้จริง (WHP) จากชุดหัวฉีด ชนิดรูตีบ (Ab) ที่ได้รับเท่ากับ 0.94 แรงม้า หรือคิดเป็นวัตต์เท่ากับ 706.2 วัตต์ และพลังงานที่ออกมาจากมอเตอร์ (MHP) ที่ได้รับเท่ากับ 0.67 แรงม้า หรือคิดเป็นวัตต์ เท่ากับ 499.82 วัตต์

จากชุดหัวฉีดร่วมชนิดปากผาย (Cc) พลังงานของกรวยเติมอากาศที่ใช้จริง (WHP) ที่ได้รับเท่ากับ 0.90 แรงม้า หรือคิดเป็นวัตต์เท่ากับ 671.6 วัตต์ และพลังงานที่ ออกมาจากมอเตอร์ (MHP) ที่ได้รับเท่ากับ 0.66 แรงม้า หรือคิดเป็นวัตต์เท่ากับ 492.36 วัตต์

2.5 ค่าประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนตามหน่วยการวัดพลังงานเมื่อ เทียบกับการใช้พลังงานจริง (OTE)_R จากชุดหัวฉีดชนิดรูตีบ (Ab) ที่ได้รับเท่ากับ 0.24 กิโลกรัมออกซิเจนต่อแรงม้า - ชั่วโมง และเมื่อเทียบกับการใช้พลังงานจากมอเตอร์ (OTE)_M ที่ได้รับเท่ากับ 0.34 กิโลกรัมออกซิเจนต่อแรงม้า - ชั่วโมง

จากชุดหัวฉีดร่วมชนิดปากผาย (Cc) ประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนเมื่อ เทียบกับการใช้พลังงานจริง (OTE)_R ที่ได้รับเท่ากับ 0.17 กิโลกรัมออกซิเจนต่อแรงม้า - ชั่วโมง และเมื่อเทียบกับการใช้พลังงานจากมอเตอร์ (OTE)_M ที่ได้รับเท่ากับ 0.24 กิโลกรัม ออกซิเจนต่อแรงม้า - ชั่วโมง

3. ความสามารถของเครื่องเติมอากาศในการใช้งานด้วยวิธีเติมอากาศให้หัวเนื้อ ของปริมาณน้ำเสียจากแหล่งน้ำภูมิสถาปัตย์ ให้การเติมอากาศในเวลาที่แตกต่างกันคือ 30, 60 และ 180 นาที วัดค่าความขุ่นก่อนเติมได้ 42.0 NTU และปริมาณออกซิเจนก่อนเติม

ได้ 0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร เติมอากาศแล้วทิ้งไว้ 1 คืน ได้ค่าความชื้นและปริมาณออกซิเจนละลายเท่ากับ 5.45 2.79 และ 3.40 NTU และ 7.8 8.8 และ 9.4 มิลลิกรัมต่อลิตรของปริมาณออกซิเจนละลาย และคิดเป็นปริมาณอากาศที่เติมลงไปเท่ากับ 10883.10 21766.20 และ 65298.60 ลิตร หรืออีกนัยหนึ่งคิดเป็นอัตราการเติมอากาศลงไปใต้น้ำเท่ากับ 3.62 : 1 7.25 : 1 และ 21.76 : 1 ตามลำดับ จากปริมาตรน้ำในบ่อทดสอบ 3 ลูกบาศก์เมตร

อภิปรายผล

จากการออกแบบสร้างกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด ทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศ และทดลองหาค่าความสามารถในการใช้งานของเครื่องเติมอากาศจากแหล่งน้ำในงานภูมิสถาปัตยกรรม การอภิปรายผลมีดังนี้

1. ด้านการออกแบบลักษณะของกรวยเติมอากาศที่สร้างขึ้น

1.1 ส่วนของหัวฉีดขับ

1.1.1 หัวฉีดชนิดรูตีบ เป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้ความดันตรงทางออกต่ำลง ผลที่ตามมาคือการเหนี่ยวนำอากาศที่เกิดขึ้นสูง จากการใช้สัมประสิทธิ์ทางออก (C_d) 0.9 และหัวความดัน (P) 15 เมตร ของน้ำที่เครื่องสูบบนแบบได้นำทำได้ โดยอัตราการไหลเบื้องต้น 21 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามป้ายบอกคุณลักษณะที่สำคัญของมอเตอร์ (Name Plate) ได้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกของหัวฉีด 21 มิลลิเมตร และมุม semicone ให้ค่าที่ 10 องศา โดยรับมาจาก เรดดี และคาร์ (Reddy and Kar. 1968 : 127) เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงความเสียหายในขณะของไหลไหลผ่านหัวฉีด โดยการลดพื้นที่หน้าตัดของการไหล จากเส้นผ่านศูนย์กลางหนึ่งไปยังอีกเส้นผ่านศูนย์กลางหนึ่งโดยผ่านตัวเชื่อมที่มีผิวโค้งเรียบและเรียบ โดยเป็นส่วนหนึ่งของท่อขับ ความเสียหายที่เกิดขึ้นก็จะลดน้อยลงจนสามารถละลายได้

1.1.2 หัวฉีดชนิดปากผาย ความดันที่ต่ำลงตรงทางออกของหัวฉีดชนิดรูตีบ สามารถเหนี่ยวนำอากาศได้ปริมาณหนึ่งเท่านั้น เมื่อต้องการทำให้ความดันต่ำลงอีกหรืออีกนัยหนึ่งคือการลดพื้นที่หน้าตัดทางออกให้เล็กลงก็จะเป็นผล วิธีหนึ่งที่สามารถลดความดันตรงทางออกให้ต่ำลงคือ ประกอบส่วนของหัวฉีดที่มีลักษณะบานออกเข้าไปกับปากของทางออกของหัวฉีดชนิดรูตีบก็สามารถทำให้การเหนี่ยวนำอากาศเพิ่มขึ้นสูงสุด จากรูปแบบการไหลที่ไม่เป็น stream line สอดคล้องกับระยะห่างของหัวฉีดร่วมชนิดปากผายต่อทางเข้าห้องผสมที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดที่ได้กำหนดไว้

1.2 ส่วนของห้องดูดและครอบห้องดูด เมื่อขับของไหลที่มีความดันสูงมายังห้องดูดโดยผ่านหัวฉีด ซึ่งทำให้ความเร็วของการไหลสูงขึ้น เกิดสมภาวะการดูดขึ้นที่หัวฉีดดูดหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าทางเข้าห้องผสม ส่งผลให้มีการเหนี่ยวนำอากาศจากเบื่องบนผิวน้ำผ่านลงมาตามท่อเหนี่ยวนำที่ถูกติดตั้งบนรัดแยกกับตัวครอบห้องดูด อากาศที่ถูกเหนี่ยวนำลงมากระทบผนังชั้นนอกห้องดูด และกระจายไปรอบบริเวณช่องว่างห้องดูดและครอบห้องดูด จากนั้นอากาศก็จะไหลผ่านรูที่ได้ทำการเจาะลงบนตัวห้องดูด จาก 4 ส่วนที่ได้แบ่งไว้คือ 0 90 180 270 องศา สู่ทางเข้าห้องผสมและเติมเต็มที่ว่างรูปวงแหวนระหว่างลำน้ำและผนังห้องผสม ในขณะที่กรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีดถูกวางลงได้น้ำได้อย่างสมบูรณ์ ห้องดูดและครอบห้องดูดสามารถออกแบบได้อย่างหลากหลาย ในขณะที่รูปทรงกระบอกเหมาะสมเป็นอย่างยิ่ง โดยเส้นผ่านศูนย์กลางห้องดูดถูกกำหนดโดยทางเข้าห้องผสม

1.3 ส่วนของทางเข้าห้องผสม ลักษณะมุม suction cone ของทางเข้าห้องผสม ถูกกำหนดโดยลักษณะภายนอกของหัวฉีดขับได้อัตราเร็ว อัตราลาดเร็วเช่นเดียวกับหัวฉีดชนิดรูตีบคือ 1 : 3 1 : 6 โดยทางเข้าห้องผสมมีลักษณะเป็นรูปปากกระฆัง ซึ่งรับมาจาก สชู และฟาโซ (Mueller, N.H.G. 1964 : 105 ; citing Schulz and Fasol. 1958. *Wasserstrahlpumpen Zur Förderung von Flüssigkeiten.*)

1.4 ส่วนของห้องผสม ห้องผสมเป็นส่วนหนึ่งของกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด จากของไหลหลักเข้าไปผ่านหัวฉีดขับและของไหลที่สองเข้ามายังห้องดูดไปสู่ทางเข้าห้องผสม โดยการแลกเปลี่ยนโมเมตัม ทำให้เกิดการเร่งของอากาศซึ่งได้รับการดูดในทิศทางของการไหลของลำน้ำ ของไหลที่สองทำให้ลำน้ำหลักไหลเต็มเป็นวงกลม การผสมกันของสองลำของไหลเกิดขึ้นภายใต้ความยาวของห้องผสมของการเพิ่มความดันสถิตย ตามการศึกษาของ โกสไลน์ และโอไบร (Mueller. N.H.G. 1964 : 90 - 92 ; citing Gosline and O'Brien. 1937. *The Water Jet Pump.* p167)

ดังนั้นรูปร่างห้องผสมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับกรวยเติมอากาศคือห้องผสมที่มีผนังขนาดกัน ใช้เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 50 มิลลิเมตร ความยาวห้องผสมสำหรับหัวฉีดชนิดรูตีบให้ค่า 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง ซึ่งสอดคล้องกับ ครอลล์ (Kroll. 1947 : 21 - 24) ซึ่งเป็นความยาวที่ความดันสถิตยเพิ่มขึ้นเท่ากับความดันที่ลดลง เนื่องจากแรงเสียดทานและอัตราส่วนของระยะห่างหัวฉีด (L_m/d_m) เป็น 2

ส่วนความยาวห้องผสมที่เหมาะสมสำหรับการใช้หัวฉีดร่วมชนิดปากผายให้ค่า 10 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเดียวกัน ความยาวที่เกิดขึ้นคือความยาวเกินค่าที่ดีที่สุดของห้องผสม จำเป็นต้องแบ่งห้องผสมออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของความยาวห้องผสมที่ 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางห้องผสม หรือความยาวห้องผสม 400 มิลลิเมตร เป็นความเร็วทางออกที่มีลักษณะเดียวกัน และส่วนที่สองเป็นทางออกที่ไม่มีความเป็นลักษณะเดียวกันของช่วงความยาวที่เหลืออีก 100 มิลลิเมตร เป็นตำแหน่งที่มีการติดตั้งเกลียวผสมไว้ส่วนปลายของ

ห้องผสม รวมเป็นความยาวที่เหมาะสมที่สุดสำหรับหัวฉีดร่วมชนิดปากผาย และการเพิ่มขึ้นของระยะห่างของหัวฉีดร่วมมีประสิทธิภาพต่อการพิจารณามากที่สุด

1.5 ส่วนของดีฟฟิวเซอร์ เป็นสิ่งที่มีรวมอยู่ในกรวยเติมอากาศ มีลักษณะที่บานออกทีละเล็กละน้อย ซึ่งจะเปลี่ยนพลังงานจลน์ของของไหลที่ได้รับการผสมเสร็จจากห้องผสมเป็นพลังงานศักย์ ที่ซึ่งจำเป็นต่อกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด

การลดความเร็วของการไหลลงทีละน้อยในขณะที่ของไหลไหลผ่านดีฟฟิวเซอร์ โดยทำให้ผิวภายในของดีฟฟิวเซอร์เป็นส่วนโค้งของวงกลมขนานไปตามแนวแกนในลักษณะกรวยรูปตัดมุม semicone ที่ใช้ 2.5 องศา รวมมุมทั้งหมด 5 องศา ให้ความยาว 245 มิลลิเมตร ที่ความโตของเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร ได้อัตราเร็ว 1 : 13 อัตราลาดเร็ว 1 : 24

1.6 ส่วนของเกลียวผสม ของไหลที่มีความหนืดสามารถผสมให้เข้ากันได้ง่าย โดยการส่งของไหลทั้งสองเข้าไปภายในท่อกับการมีอยู่ของแผ่นกั้นที่เรียกว่าเกลียวผสม ความยาวของห้องผสมที่เหมาะสมต่อการผสมไม่ควรสั้นกว่า 5-10 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง

เกลียวผสมเป็นส่วนประกอบที่ทำให้เกิดการรวมตัวกันระหว่างลำน้ำกับอากาศที่ถูกเหนี่ยวนำนั่นคือ เกลียวที่สั้นในลักษณะบิดหรือไขว้พันกัน 180 องศาของเกลียว เมื่อลำน้ำและอากาศเข้าสู่ห้องผสมในรูปของวงแหวนผ่านเกลียวผสม การสูญเสียแรงดันเกิดจากการเปลี่ยนทิศทางการไหลเมื่อผ่านเกลียวของการผสม และการรวมตัวของของไหลเกิดขึ้นเมื่อผ่านเกลียวผสมเข้าสู่ดีฟฟิวเซอร์

2. ประสิทธิภาพของกรวยเติมอากาศแบบหัวฉีด สามารถแยกการอภิปรายผลออกเป็น 2 ส่วนคือ

2.1 ปริมาตรการเหนี่ยวนำอากาศของกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด

2.1.1 จากการปรับระยะห่างหัวฉีดชนิดรูตีบ 12 ค่าของความยาวห้องผสม 3 ค่า ชุด A ให้ค่าการเหนี่ยวนำอากาศสูงสุด จากชุดการทดลองทั้งหมดค่าต่าง ๆ ที่ได้รับมีดังต่อไปนี้

ระยะทางของทางออกหัวฉีดชนิดรูตีบ จากทางเข้าห้องผสม 42 มิลลิเมตร หรือคิดเป็นอัตราส่วนระยะห่างหัวฉีด (L_m/d_m) เท่ากับ 2 ใช้ความยาวห้องผสม 300 400 และ 500 มิลลิเมตร หรือคิดเป็นอัตราส่วนความยาวห้องผสม (L_{mc}/D_{mc}) เท่ากับ 6 8 และ 10 ได้รับค่าความเร็วการเหนี่ยวนำหรือการเหนี่ยวนำอากาศโดยปริมาตรที่ คงที่คือ 2 เมตรต่อวินาที หรือ 403.08 ลิตรต่อนาทีโดยปริมาตร การมีอยู่ของดีฟฟิวเซอร์เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับกรวยเติมอากาศที่ใช้หัวฉีดชนิดรูตีบขับของไหล

2.1.2 จากการปรับระยะห่างหัวฉีดร่วมชนิดปากผาย 12 ค่าของความยาวห้องผสม 3 ค่า ชุดการทดลอง A ให้ค่าการเหนี่ยวนำอากาศสูงสุด จากไม่มีการติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสมโดยมีดีฟิวเซอร์ ค่าต่าง ๆ ที่ได้รับมีดังต่อไปนี้

ระยะทางของทางออกหัวฉีดร่วมชนิดปากผาย จากทางเข้าห้องผสม 90 มิลลิเมตร หรือคิดเป็นอัตราส่วนของระยะห่างหัวฉีดร่วม (L_m/d_m) เท่ากับ 3 ใช้ความยาวห้องผสม 300 400 และ 500 มิลลิเมตร หรือคิดเป็นอัตราส่วนความยาวห้องผสม (L_{mc}/D_{mc}) เท่ากับ 6 8 และ 10 ได้รับค่าความเร็วการเหนี่ยวนำหรือการเหนี่ยวนำอากาศ โดยปริมาตรเพิ่มขึ้น เมื่อระยะห่างหัวฉีดร่วมกับความยาวห้องผสมเพิ่มขึ้นคือ 2.6 2.7 และ 2.7 เมตรต่อวินาที หรือ 524 544.16 และ 544.16 ลิตรต่อนาทีโดยปริมาตร

การมีอยู่ของดีฟิวเซอร์เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับกรวยเติมอากาศที่ใช้หัวฉีดร่วมชนิดปากผายขับของไหล

สำหรับการทดลองชุด C จากมีการติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสมโดยมีดีฟิวเซอร์ให้ค่าการเหนี่ยวนำอากาศสูงกว่าการทดลองชุด C จากการใช้หัวฉีดชนิดรูตีบขับของไหล โดยมีการติดตั้งเกลียวผสมไว้ภายในห้องผสมเช่นเดียวกันทุกการทดสอบ ค่าต่าง ๆ ที่ได้รับมีดังนี้

ระยะทางของทางออกหัวฉีดร่วมชนิดปากผายในชุดการทดลอง C ได้รับค่า 80 และ 90 มิลลิเมตร หรือคิดเป็นอัตราส่วนระยะห่างหัวฉีดร่วม (L_m/d_m) ≈ 3 ใช้ความยาวห้องผสม 300 400 และ 500 มิลลิเมตร หรือคิดเป็นอัตราส่วนความยาวห้องผสม (L_{mc}/D_{mc}) เท่ากับ 6 8 และ 10 ได้รับความเร็วการเหนี่ยวนำหรือการเหนี่ยวนำอากาศ โดยปริมาตรคือ 1.4 1.5 และ 1.8 เมตรต่อวินาที หรือ 282.16 302.31 และ 362.77 ลิตรต่อนาทีโดยปริมาตร

การไม่มีอยู่ของดีฟิวเซอร์ในชุดการทดลอง D สามารถเพิ่มความเร็วของการเหนี่ยวนำอากาศได้เล็กน้อยของหัวฉีดร่วมชนิดปากผาย แต่สำหรับหัวฉีดชนิดรูตีบความจำเป็นสำหรับการมีอยู่ของดีฟิวเซอร์เป็นสิ่งจำเป็นทุกชุดการทดสอบ

2.2 ประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศจากสภาวะการทดสอบสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทออกซิเจน ($K_L a$) จากการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 30 จากค่าที่คำนวณได้ของการทดลอง จากการใช้หัวฉีดร่วมชนิดปากผายชุด C_c ไม่สามารถลดออกซิเจนที่ละลายน้ำให้ถึงศูนย์ได้ในประเด็นแรก และการเปิดเครื่องเติมอากาศเพื่อให้น้ำในบ่อทดสอบผสมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 15 นาที อาจเป็นการใช้เวลานานเกินไป หรืออีกนัยหนึ่งเป็นการเติมอากาศไปในตัวเป็นประเด็นที่สอง

ดังนั้นการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ของการทดลอง จากการใช้หัวฉีดชนิดรูตีบชุด Ab เป็นร้อยละ 56 จากค่าที่คำนวณได้และลดเวลาการเดินเครื่องเพื่อการผสมของน้ำกับโซเดียม

ซัลไฟท์เหลือ 10 นาที่ สามารถดูดออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำจนถึงศูนย์ ณ จุดที่ 1 ทั้ง 3 ระดับความลึกได้

ค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทออกซิเจน (K_La) ที่เกิดขึ้นทั้งสองการทดลองเป็นตัวชี้ที่สำคัญของประสิทธิภาพกรวยเติมอากาศ เมื่อค่า K_La ที่ได้จากการทดสอบมีค่าสูงก็จะส่งผลต่อค่า K_La ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ค่าความสามารถในการเติมออกซิเจนที่สภาวะทำการทดสอบและสภาวะมาตรฐาน ค่าประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนตามการวัดของพลังงานเมื่อเทียบกับการใช้พลังงานจริง และเมื่อเทียบกับการใช้พลังงานจากมอเตอร์ให้สูงขึ้นตามไปด้วย หรืออีกนัยหนึ่งค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทออกซิเจน (K_La) เป็นค่าที่รวมตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ ลักษณะของกรวยเติมอากาศ ความลึกของกรวยเติมอากาศ ขณะเติมอากาศขนาดของฟองอากาศ ความปั่นป่วนของน้ำขณะเติมอากาศ ลักษณะบ่อเติมอากาศ ปริมาตรน้ำ อุณหภูมิของน้ำขณะทำการทดสอบ และถือว่าค่าที่ได้จากการทดลองเป็นค่า K_La ที่คงที่หากไม่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะของกรวยเติมอากาศ

3. ด้านความสามารถของกรวยเติมอากาศ ในการใช้งานด้วยการปรับปรุงน้ำเสียในแหล่งน้ำภูมิสถาปัตย์ ให้คุณภาพน้ำทางกายภาพ เช่น ความขุ่น และคุณภาพน้ำทางเคมี เช่น ปริมาณออกซิเจนละลายดีขึ้นหลังจากถูกเติมอากาศด้วยกรวยเติมอากาศจากปริมาตรน้ำในบ่อทดสอบ 3 ลูกบาศก์เมตร พบว่า ค่าความขุ่นที่มีอยู่ในแหล่งน้ำก่อนเติมอากาศทั้ง 3 วัน อยู่ที่ 42 42 และ 38.1 NTU เมื่อเติมอากาศโดยการทดลองใช้หัวฉีดร่วมฉีดปากผายขับของไหลจากชุดทดสอบ C_c ใช้เวลาเติมอากาศ 30 60 และ 180 นาที่ แล้วทิ้งไว้ 1 คืน ค่าความขุ่นลดลงเป็น 5.45 2.79 และ 3.40 NTU ตามลำดับ การเติมอากาศโดยใช้เวลา 30 60 และ 180 นาที่ ให้ตะกอนที่เหมือนกันคือ ตะกอนจับกันเป็นก้อนสีน้ำตาลทั่วทั้งพื้นบ่อทดสอบ และการเติมอากาศที่ใช้เวลา 60 นาที่ สามารถลดค่าความขุ่นจนถึง 2.79 NTU ได้ และเป็นค่าที่ต่ำสุดที่ได้จากการทดลอง โดยค่าทั้ง 3 จัดเป็นค่าที่แสดงถึงความใสของน้ำ

ด้านปริมาณออกซิเจนละลายที่มีอยู่ในแหล่งน้ำก่อนเติมอากาศทั้ง 3 วัน อยู่ที่ 0.8 เมื่อเติมอากาศจากชุดการทดสอบเดียวกันใช้เวลาเติมอากาศเดียวกันแล้วทิ้งไว้ 1 คืน พบว่า ปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้นเป็น 7.8 8.8 และ 9.4 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือคิดเป็นปริมาณอากาศที่ถูกเติมลงไปใต้น้ำจากเวลาที่กำหนดข้างต้นเป็น 10883.10 21766.20 และ 65298.60 ลิตร ตามลำดับ

ความเหมาะสมของการใช้เวลาในการเติมอากาศ ถ้าปริมาตรน้ำ 3 ลูกบาศก์เมตร ใช้เวลา 30 นาที่ ก็เป็นการเพียงพอ แต่ถ้าปริมาตรของน้ำที่จะเติมอากาศเพิ่มขึ้น เวลาของการเติมอากาศที่เกิดจากการใช้กรวยเติมอากาศเติมอากาศก็จะเพิ่มขึ้น

ค่าออกซิเจนปรากฏเกิดจากความสามารถของกรวยเติมอากาศ สามารถนำไปใช้เติมอากาศเพื่อปรับปรุงคุณภาพของน้ำให้กับน้ำเสียกับแหล่งน้ำภูมิสถาปัตย์กรรมเพื่อชดเชย

ความขาดแคลนออกซิเจน และปรับปรุงการหมุนเวียนของน้ำเพื่อให้วงจรชีวิตที่ดำรงอยู่ภายในแหล่งน้ำนั้นสามารถเกิดขึ้นได้อย่างเหมาะสมต่อการใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิตต่อไป

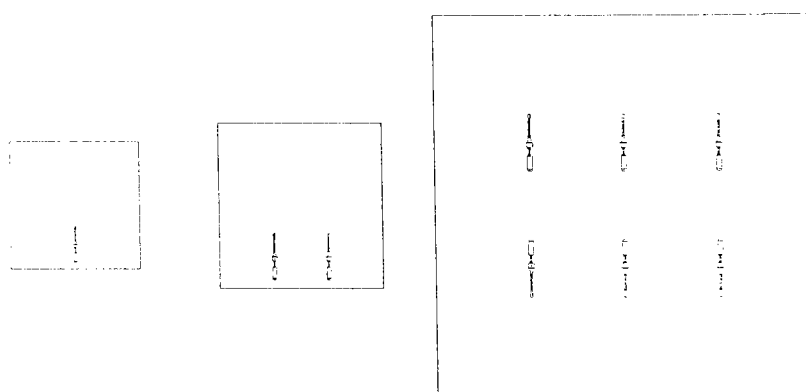
ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

จากการทดสอบเครื่องเติมอากาศโดยใช้วิธีการเติมอากาศใหม่ของน้ำสะอาด ซึ่งเครื่องที่ถูกทดสอบนั้นจะถูกติดตั้งให้อยู่ใต้น้ำ จึงมีความไวต่อการเติมอากาศมาก กล่าวคือค่าการละลายออกซิเจนตรงระดับความลึกตรงหัวเติมอากาศหรือระยะปลายดิสฟิวเซอร์จะไม่ถึงศูนย์ที่เวลาเริ่มต้น

ดังนั้นเมื่อดึงออกซิเจนจากน้ำเพื่อให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำลดลงถึงศูนย์ โดยใช้โซเดียมซัลไฟต์เป็นตัวทำปฏิกิริยาและเดินเครื่องเติมอากาศ 10 นาที เพื่อให้ให้น้ำในบ่อทดสอบผสมกับโซเดียมซัลไฟต์ทั่วทั้งบ่อ ต้องถอดท่อเหนี่ยวนำอากาศออกเพื่อควบคุมมิให้มีการเหนี่ยวนำอากาศเข้ามาเกี่ยวข้องในการผสมระหว่างน้ำในบ่อ ฉะนั้นเมื่อหยุดเครื่องเพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ก็จะได้ออกซิเจนละลายถึงศูนย์ทุกจุดและทุกระดับความลึกที่ต้องการวัด

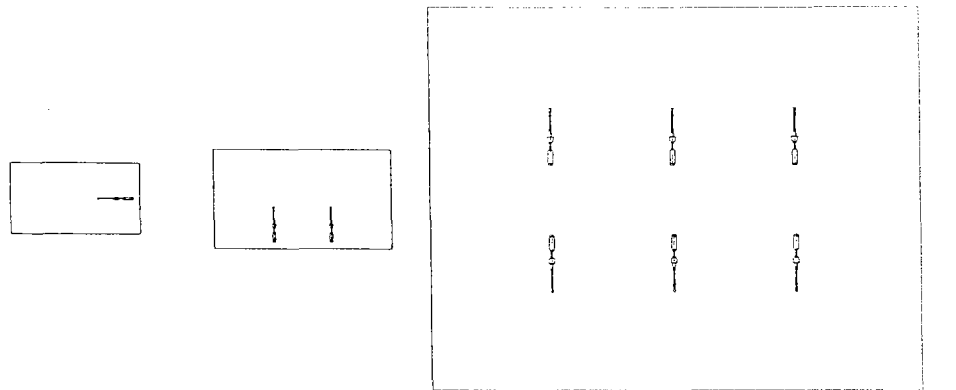
ในด้านการนำกรวยเติมอากาศไปใช้กับบ่อน้ำในงานภูมิสถาปัตย์ ผู้วิจัยขอเสนอรูปแบบเพื่อการติดตั้งกรวยเติมอากาศลงในบ่อน้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุดที่เป็นไปตามรูปแบบบ่อ ดังนี้

1. ลักษณะการติดตั้งกรวยเติมอากาศลงในบ่อน้ำสี่เหลี่ยมจัตุรัส



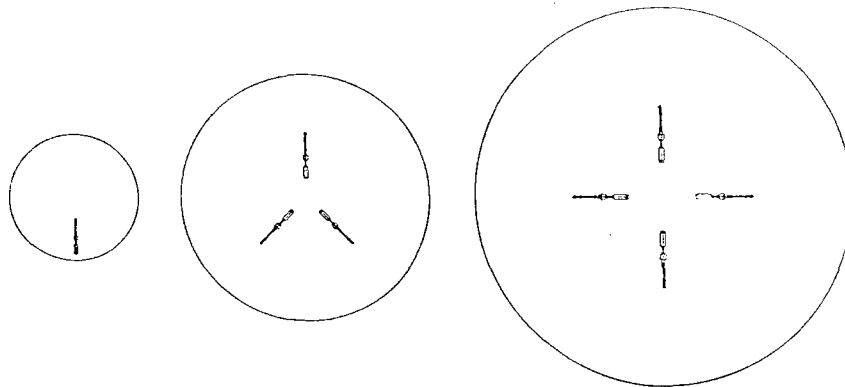
ตำแหน่งติดตั้งกรวยเติมอากาศลงในบ่อน้ำสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดเล็กให้ติดตั้งด้านใดด้านหนึ่งของบ่อ ใช้กรวยเติมอากาศเพียงตัวเดียวและเมื่อขนาดของบ่อใหญ่ขึ้น ซึ่งเป็นบ่อขนาดกลางตำแหน่งที่ติดตั้งกรวยเติมอากาศให้ใช้ด้านใดด้านหนึ่งของบ่อ ใช้กรวยเติมอากาศมากกว่า 1 ตัว แต่ถ้าเป็นบ่อขนาดใหญ่ตำแหน่งที่ติดตั้งกรวยเติมอากาศให้อยู่ตรงกลางบ่อ และหันหัวเติมอากาศไปทางขอบของบ่อ

2. ลักษณะการติดตั้งกรวยเติมอากาศลงในบ่อน้ำสี่เหลี่ยมผืนผ้า



ตำแหน่งติดตั้งกรวยเติมอากาศลงในบ่อน้ำสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดเล็ก ตำแหน่งที่ติดตั้งให้ติดตั้งทางด้านที่แคบสุดของบ่อ ใช้กรวยเติมอากาศเพียงตัวเดียวและเมื่อขนาดของบ่อที่จะติดตั้งใหญ่ขึ้น ซึ่งเป็นบ่อขนาดกลาง ตำแหน่งที่ติดตั้งให้เปลี่ยนเป็นด้านที่ยาวที่สุดของบ่อ ใช้กรวยเติมอากาศมากกว่า 1 ตัว สำหรับการติดตั้งกรวยเติมอากาศกับบ่อขนาดใหญ่ ตำแหน่งที่ติดตั้งกรวยเติมอากาศให้อยู่ตรงกลางบ่อ แนวเดียวกันกับด้านที่ยาว และหันหัวเติมอากาศไปทางขอบของบ่อ

3. ลักษณะการติดตั้งกรวยเติมอากาศลงในบ่อน้ำวงกลม



ตำแหน่งติดตั้งกรวยเติมอากาศลงในบ่อน้ำวงกลมขนาดเล็ก ตำแหน่งที่ติดตั้งเลือกริมขอบบ่อตามความเหมาะสม ใช้กรวยเติมอากาศเพียงตัวเดียวและเมื่อขนาดของบ่อใหญ่ขึ้น ซึ่งเป็นบ่อขนาดกลาง ตำแหน่งที่ติดตั้งให้เปลี่ยนเป็นตรงกลางบ่อ ให้อยู่ในรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า กรวยเติมอากาศที่ใช้ 3 ตัว ส่วนบ่อวงกลมขนาดใหญ่แนะนำให้ใช้กรวย

เดิมอากาศ 4 ตัว ตำแหน่งที่ติดตั้งยังคงอยู่ตรงกลางบ่อทำมุม 0 องศา 90 องศา 180 องศา และ 270 องศา

4. ลักษณะบ่อน้ำที่จะดำเนินการสร้างใหม่ควรออกแบบบ่อให้น้ำภายในบ่อสามารถไหลวน เหมือนกับบ่อที่ใช้ทดสอบเครื่องเดิมอากาศที่ใช้ในห้องปฏิบัติการที่ได้ทำการวิจัยแล้วนี้

5. ชุดที่ควรนำไปใช้ในการติดตั้งกรวยเดิมอากาศลงในบ่อทั้ง 4 รูปแบบ ควรเป็นไปตามค่าตามการทดสอบดังต่อไปนี้

5.1 เมื่อใช้หัวฉีดชนิดรูตีบซึบของไหลให้ใช้ชุด A ไม่ติดตั้งเกลียวผสมไว้ในห้องผสม โดยมีดีฟฟิวเซอร์ ความยาวห้องผสมที่ใช้ 400 มิลลิเมตร (Ab) ระยะห่างหัวฉีดจากทางเข้าห้องผสม 42 มิลลิเมตร

5.2 เมื่อใช้หัวฉีดร่วมชนิดปากผายชุด C ติดตั้งเกลียวผสมไว้ในห้องผสม โดยมีดีฟฟิวเซอร์ ความยาวห้องผสมที่ใช้ 500 มิลลิเมตร (Cc) ระยะห่างหัวฉีดจากทางเข้าห้องผสม 90 มิลลิเมตร

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

1. การทดสอบเครื่องเดิมอากาศที่ใช้กันอยู่มี 4 วิธีคือ ออกซิเจนเซลล์ไฟฟ้าที่มีเกินพอ สมดุลย์ออกซิเจน การใช้ออกซิเจนทางชีววิทยา และการเดิมอากาศใหม่ของน้ำสะอาด ถ้าจะมีการทดลองเครื่องเดิมอากาศได้น้ำในครั้งต่อไป ควรจะลองด้วยวิธีสมดุลย์ของก๊าซออกซิเจนดูบ้าง เพราะบ่อทดสอบที่ใช้เป็นแบบบ่อปิด สามารถควบคุมปริมาณออกซิเจนจากบรรยากาศได้

2. ความสามารถในการใช้งานที่ได้ของกรวยเดิมอากาศ จากการวิจัยในครั้งนี้ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการทั้งหมด ดังนั้นควรทำการศึกษาโดยการนำกรวยเดิมอากาศไปทำการทดลองเดินเครื่องภายในบ่อน้ำภูมิสถาปัตยกรรม

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2538). “ทรัพยากรน้ำและวิธีการบำบัดน้ำเสีย.” ใน *วารสารเพื่อการเผยแพร่*. กรุงเทพฯ : กรมโรงงานอุตสาหกรรม.
- กรมอนามัย. (2537). *คู่มือตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี*. กรุงเทพฯ : กรมอนามัย.
- กรรณิการ์ สิริสิงห์. (2522). *เคมีของน้ำ น้ำโสโครกและการวิเคราะห์*. กรุงเทพฯ : คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- กীরติ ลีวัจนกุล. (2534). *ชลศาสตร์*. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. (2537). *วิศวกรรมการจัดน้ำเสีย เล่มที่ 3*. กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และคนอื่น ๆ. (2530). *น้ำเสียชุมชนและปัญหามลภาวะทางน้ำในเขตกทม. และปริมณฑล*. กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงาน.
- เบญจา พวงสุวรรณ. (2525). *รายงานการศึกษาวิเคราะห์ผลงานวิจัย อันดับที่ 2 น้ำทิ้ง - น้ำเสีย พ.ศ. 2514 - 2533*. กรุงเทพฯ : กองวิเคราะห์โครงการและประเมินผล สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและพลังงาน.
- ปราณี พันธุมสินชัย. (2537). “คู่มือ เล่มที่ 3 คู่มือการดำเนินงานควบคุมปัญหาน้ำเสียของภาคีรัฐบาลองค์การบริหารส่วนจังหวัด เทศบาล และสุขาภิบาล,” ใน *โครงการจัดทำคู่มือดำเนินงานระบบบำบัดน้ำเสียและการใช้มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร*. กรุงเทพฯ : กรมควบคุมมลพิษ.
- เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวด. (2536). *แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ*. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์. (2538). *พลาสติกวิศวกรรม*. กรุงเทพฯ : พาณิชพระนคร.
- มันสิน ดันทุลเวศม์. (2537). *วิศวกรรมประปา เล่มที่ 1*. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิทยา เพียรวิจิตร. (2525). *เทคโนโลยีกำจัดน้ำเสีย*. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.
- ศูนย์ศึกษานานาชาติ. (2531). *ระบบส่งจ่ายน้ำเพื่ออุปโภคบริโภค*. กรุงเทพฯ : บริษัทกรูนด์ฟอส (ประเทศไทย).
- สมใจ กาญจนวงศ์. (2532). *การจัดการคุณภาพน้ำ*. เชียงใหม่ : ภาควิชาวิศวกรรมสถานะแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

- สุนทร สตาภรณ์. (2537). ตำรา *Elementary Engineering Thermodynamic*.
กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยี.
- สุรพล สายพานิช. (2538). “ส่วนประกอบของกระบวนการที่สำคัญ,” ใน *การควบคุม
ดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย*. หน้า 173 - 180. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรม
สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุรินทร์ เศรษฐพานิต. (2534). “แนวทางการจัดการคุณภาพน้ำ,” ใน *เอกสาร
ประกอบการสัมมนาการจัดการสภาวะแวดล้อมในทศวรรษหน้า*.
หน้า 1 - 5. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. (2518). *การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงาน
อุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน*. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์
และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.
- อรรถัย ขวาลภาฤทธิ์. (2538). “เคมีน้ำเสีย,” ใน *การควบคุมดูแลระดับบำบัด
น้ำเสีย*. หน้า 63 - 70. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อุดร จุรัตน์. (2537). คู่มือ เล่มที่ 2 คู่มือผู้ออกแบบและผู้ผลิตระบบบำบัดน้ำเสียแบบ
ติดกับที่,” ใน *โครงการจัดทำคู่มือดำเนินงานระบบบำบัดน้ำเสียและการใช้
มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร*. กรุงเทพฯ : กรมควบคุมมลพิษ.
- Cohen, Cheri D. (1988, December). “Aeration Crucial to Hightyild Aquaculture,”
Water and Wastewater International. 3(6) : 18 - 19.
- Chhabria, N.D. Y.R. Reddy and Subir Kar. (1970, July). “Effect of Mixing of
Two Fluids on the Energy Efficiency of Conical Diffusers,” *Journal of
Institution of Engineers*. 50(11) : 315 - 320.
- Eckkenfelder, JR.W. (1966). *Industrial Water Pollution Control*. New York :
McGraw-Hill Book Company.
- Kroll, Edgar A. (1947, February). “The Design of the Pump,” *Chemical
Engineering Progress*. 1(2) : 21 - 24.
- Mueller, N.H.G. (1964, May). “Water Jet Pump,” *Journal of the Hydraulic
Division Proceedings of the American Society of Civil Engineers*. 90(3) :
83 - 113.
- Reddy, Y.R. and Subir Kar. (1968, September). “Theory and Performance of
Water Jet Pumps,” *Journal of Hydraulic Division Proceedings of the
American Society of Civil Engineers*. 94(5) : 1261 - 1281.

Sanger, N.L. (1970, March). "An Experimental Investigation of Several Low Area Ratio Water Jet Pumps," *Transactions ASME*. 92(1) : 11 - 20.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

บันทึกผลการทดลองและขั้นตอนการทดสอบกรวยเติมอากาศ
ด้วยวิธีการเติมอากาศใหม่ในน้ำสะอาด จากการใช้หัวฉีดชนิดรูป ชุด A
ไม่ติดตั้งเกลียวผสมไว้ในห้องผสม
โดยมีดีฟิวเซอร์ของความยาวห้องผสม 400 มิลลิเมตร (Ab)
ระยะห่างหัวฉีดจากทางเข้าห้องผสม 42 มิลลิเมตร

การทดสอบกรวยเติมอากาศในบ่อทดสอบ เพื่อหาค่า ส.ป.ส. การถ่ายเทออกซิเจน (K_La) ของกรวยเติมอากาศที่สร้างขึ้นในงานวิจัย โดยวิธีการเติมอากาศใหม่ในน้ำสะอาด ให้การไหลของน้ำภายในบ่อไหลวนในขณะที่ทำการเติมอากาศที่สภาวะไม่เสถียร (unsteady state) ซึ่งได้ทำการทดสอบ ณ บริเวณด้านหลังอาคารวิทยาศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์ (บางเขน) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มีขั้นตอนการดำเนินการและข้อมูลดังนี้

1. ข้อมูลสภาวะการทดสอบกรวยเติมอากาศขณะทำการทดสอบมีดังนี้

1.1 ปริมาตรน้ำในบ่อทดสอบ : 6 ม³

1.2 ความดัน ณ บริเวณที่ทำการทดสอบประมาณ 1 บรรยากาศ

1.3 อุณหภูมิของน้ำในบ่อทดสอบขณะทดสอบ : 28.9 องศาเซลเซียส

1.4 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอิ่มตัว (C_s) : 7.7 มิลลิกรัมต่อลิตร (จากค่าเฉลี่ย)

1.5 แรงดันไฟฟ้า : 215 โวลท์

1.6 กระแสไฟฟ้า : 4.5 แอมแปร์

1.7 power factor : 73.30 เปอร์เซนต์

1.8 ประสิทธิภาพมอเตอร์ : 72.35 เปอร์เซนต์

2. กำหนดหาปริมาณโคบอลต์คลอไรด์ ($CoCl_2$)

ต้องการให้มี $CoCl_2$ ในน้ำ 1 ลิตร อยู่ 1.5 มิลลิกรัม

น้ำที่ใช้ในการทดสอบกรวยเติมอากาศ 6 ม³ ใช้ $CoCl_2$ คิดเป็นน้ำหนัก

$$\begin{aligned} \text{จาก } 6000 \times 1.5 &= 9000 \text{ มิลลิกรัม} \\ &= \frac{9000}{1000} \\ &= 9 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

3. ติดตั้งเครื่องเติมอากาศลงในบ่อทดสอบแล้วเดินเครื่องเติมอากาศเพื่อให้ความเข้มข้นออกซิเจนของน้ำในบ่อมีค่าอิ่มตัว เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยพิจารณาว่าสามารถเติมอากาศลงในน้ำให้ได้ DO ถึงร้อยละ 90 ภายในเวลา 45 นาที

4. วัดค่าความเข้มข้นออกซิเจนของน้ำในบ่อทดสอบที่ระยะ $3/4$ ของระยะห่างระหว่างเครื่องเติมอากาศกับผนังบ่อทดสอบคือ

4.1 ระยะ 10 เซนติเมตร ใต้ผิวน้ำ

4.2 กึ่งกลางความลึก (27.5 เซนติเมตร)

4.3 ระยะ 10 เซนติเมตร จากก้นบ่อทดสอบ

โดยใช้ดีโอมิเตอร์เพื่อหาค่าออกซิเจนละลายเฉลี่ย นำไปคำนวณปริมาณของ Na_2SO_3 ที่ต้องการใช้

จุดที่ 1 (ที่ระยะ 3/4) (37.5 เซนติเมตร)	ปริมาณออกซิเจนละลาย(มิลลิกรัมต่อลิตร)
ความลึก 10 เซนติเมตร ใต้ผิวน้ำ	7.6
กึ่งกลางความลึก (27.5 เซนติเมตร)	7.6
ความลึก 10 เซนติเมตร จากก้นบ่อทดสอบ	7.5
จุดที่ 2	
ความลึก 10 เซนติเมตร ใต้ผิวน้ำ	7.9
กึ่งกลางความลึก (27.5 เซนติเมตร)	7.8
ความลึก 10 เซนติเมตร จากก้นบ่อทดสอบ	7.8
จุดที่ 3	
ความลึก 10 เซนติเมตร ใต้ผิวน้ำ	7.8
กึ่งกลางความลึก (27.5 เซนติเมตร)	7.8
ความลึก 10 เซนติเมตร จากก้นบ่อทดสอบ	7.8
จุดที่ 4	
ความลึก 10 เซนติเมตร ใต้ผิวน้ำ	7.7
กึ่งกลางความลึก (27.5 เซนติเมตร)	7.7
ความลึก 10 เซนติเมตร จากก้นบ่อทดสอบ	7.7
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.7 มิลลิกรัมต่อลิตร	

5. นำโคบอลต์ 9 กรัม มาละลายน้ำในบีกเกอร์ที่มีปริมาตรน้ำ 800cc แล้วเติมโคบอลต์ลงในบ่อทดสอบโดยแบ่งบ่อทดสอบออกเป็น 4 จุด เติมโคบอลต์จุดละ 200cc เปิดเครื่องเติมอากาศผสมให้เข้ากัน 1 ชั่วโมง (การเปิดเครื่องเติมอากาศในครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อให้หม้อเตอร์ทำงานในสภาวะเสถียรจะได้วัดกระแสไฟฟ้าได้ถูกต้อง)

6. คำนวณหาปริมาณ Na_2SO_3 มีค่าออกซิเจนละลายน้ำอิ่มตัวจากการเปิดเครื่องเติมอากาศ 45 นาที = 7.7 มิลลิกรัมต่อลิตร จากค่าเฉลี่ย) ในการลดออกซิเจนละลาย 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะต้องใช้ Na_2SO_3 เท่ากับ 7.9 มิลลิกรัม ในบ่อทดสอบมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอิ่มตัว (C_s) = 7.7 มิลลิกรัมต่อลิตร

$$\begin{aligned}
 \text{ตามทฤษฎีต้องการ } \text{Na}_2\text{SO}_3 &= 7.9 \times 7.7 &= 60.83 &\text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \\
 \text{คิดเป็นน้ำหนัก} &= 6000 \times 60.83 &= 364980 &\text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \\
 &= \frac{364980}{1000} \\
 &= 364.98 &\text{ กรัม}
 \end{aligned}$$

หมายเหตุ Na_2SO_3 ซื้อมา 1000 กรัม ในราคา 150 บาท (grade ทัวไป) ใช้ไปครั้งแรก 431.34 กรัม คงเหลือ 568.66 กรัม

ใส่เพิ่มอีก 204.389 กรัม เพื่อให้เป็นไปในทางปฏิบัติหรือเติมให้เกินจากค่าที่คำนวณได้ ในการทดสอบครั้งนี้ใช้ร้อยละ 56 (จากที่เหลือครั้งแรก) เพราะการทดสอบครั้งแรกกับ หัวจิตปากผาย ดึง DO มาไม่ถึง ศูนย์ ท่านอาจารย์ ดร. บรรชา บอกให้ใช้ Na_2SO_3 หมาดุง จะได้น้ำหนัก Na_2SO_3 ที่ใช้ทั้งหมด

$$= 364.98 \times 1.56$$

$$= 569.369 \text{ กรัม}$$

7. นำ Na_2SO_3 มาละลายน้ำในบีกเกอร์แล้วเทลงไปในบ่อทดสอบทั้ง 4 จุด ที่แบ่งไว้โดยแต่ละจุดที่ติดตั้งเท่ากัน เปิดเครื่องเติมอากาศเป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้ น้ำใน บ่อทดสอบผสมกับ Na_2SO_3 ให้ทั่วถึง แล้วจึงหยุดเครื่องให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ วัดปริมาณออกซิเจนละลายจนมีค่าเท่ากับศูนย์ ดูจากดีไอมิเตอร์

8. เปิดเครื่องเติมอากาศเพื่อเก็บข้อมูลนำมาคำนวณหาค่า $K_L a$ โดยวัดค่าดีไอ มิเตอร์ ทุกกระยะ 5 นาที ระยะ 3/4 ระหว่างเครื่องเติมอากาศกับผนังบ่อทดสอบ

8.1 ความลึก 10 เซนติเมตร ได้ผิวน้ำ

8.2 กึ่งกลางความลึกของบ่อทดสอบ (27.50 เซนติเมตร)

8.3 ความลึก 10 เซนติเมตรจากก้นบ่อทดสอบ

โดยจดข้อมูลตั้งแต่พบว่ามีค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำมีค่าวัดได้แน่นอน นำผลการ ทดลองบันทึกไว้ในตาราง 4

9. ได้ค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลาย (C) ที่เวลา t แล้วนำค่าความเข้มข้น ของออกซิเจนละลายอิ่มตัว (C_s) ไปลบจากค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายที่เวลา t ดังตาราง 4

ตาราง 4 ค่าความเข้มข้นออกซิเจนละลายที่เวลา t ณ จุดความลึก

เวลาของการเติมอากาศ (นาที)	c (มิลลิกรัมต่อลิตร) จุดที่												cเฉลี่ย	C _s - C (มิลลิกรัมต่อลิตร)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
t ₀ = 0	0	0	0	4.5	4.4	4.5	3.9	3.6	4.3	2.9	2.8	2.9	2.8	4.9
t ₁ = 5	0.1	0.1	0.1	5.8	5.8	5.9	5.4	5.3	5.5	3.9	3.8	4.1	3.8	3.9
t ₂ = 10	1.6	1.6	1.6	6.4	6.4	6.5	6.2	6.2	6.3	5.2	5.1	5.1	4.8	2.9
t ₃ = 15	2.5	2.8	2.8	6.9	6.9	6.9	6.7	6.7	6.7	5.8	5.9	6.2	5.5	2.2
t ₄ = 20	4.2	4.3	4.2	7.3	7.3	7.3	7.0	7.1	7.1	6.3	6.4	6.4	6.2	1.5
t ₅ = 25	5.2	5.2	5.4	7.6	7.6	7.6	7.4	7.4	7.4	6.9	7.0	7.0	6.8	0.9
t ₆ = 30	6.0	6.1	6.5	7.7	7.7	7.7	7.5	7.5	7.5	7.2	7.2	7.3	7.1	0.6
t ₇ = 35	6.5	6.5	6.6	7.9	7.8	7.9	7.7	7.7	7.7	7.3	7.4	7.4	7.3	0.4
t ₈ = 40	6.9	6.9	7.1	8.0	7.9	8.0	7.8	7.8	7.8	7.5	7.6	7.5	7.5	0.2
t ₉ = 45	7.2	7.2	7.3	8.0	8.0	8.0	7.9	7.8	7.8	7.6	7.6	7.5	7.6	0.1
t ₁₀ = 50	7.3	7.2	7.4	8.0	8.0	8.0	7.9	7.8	7.8	7.6	7.6	7.7	7.6	0.1
t ₁₁ = 55	7.4	7.2	7.6	8.1	8.0	8.1	7.9	7.9	7.9	7.6	7.6	7.7	7.7	0
t ₁₂ = 60	7.6	7.3	7.6	8.1	8.0	8.1	7.9	7.9	7.9	7.6	7.7	7.7	7.7	0

หมายเหตุ จุดที่ 1, 2, 3 คือระยะ 3/4 ที่ความลึกได้เวลานี้ 10, 27.5 และ 10 เซนติเมตรจากก้นบ่อ

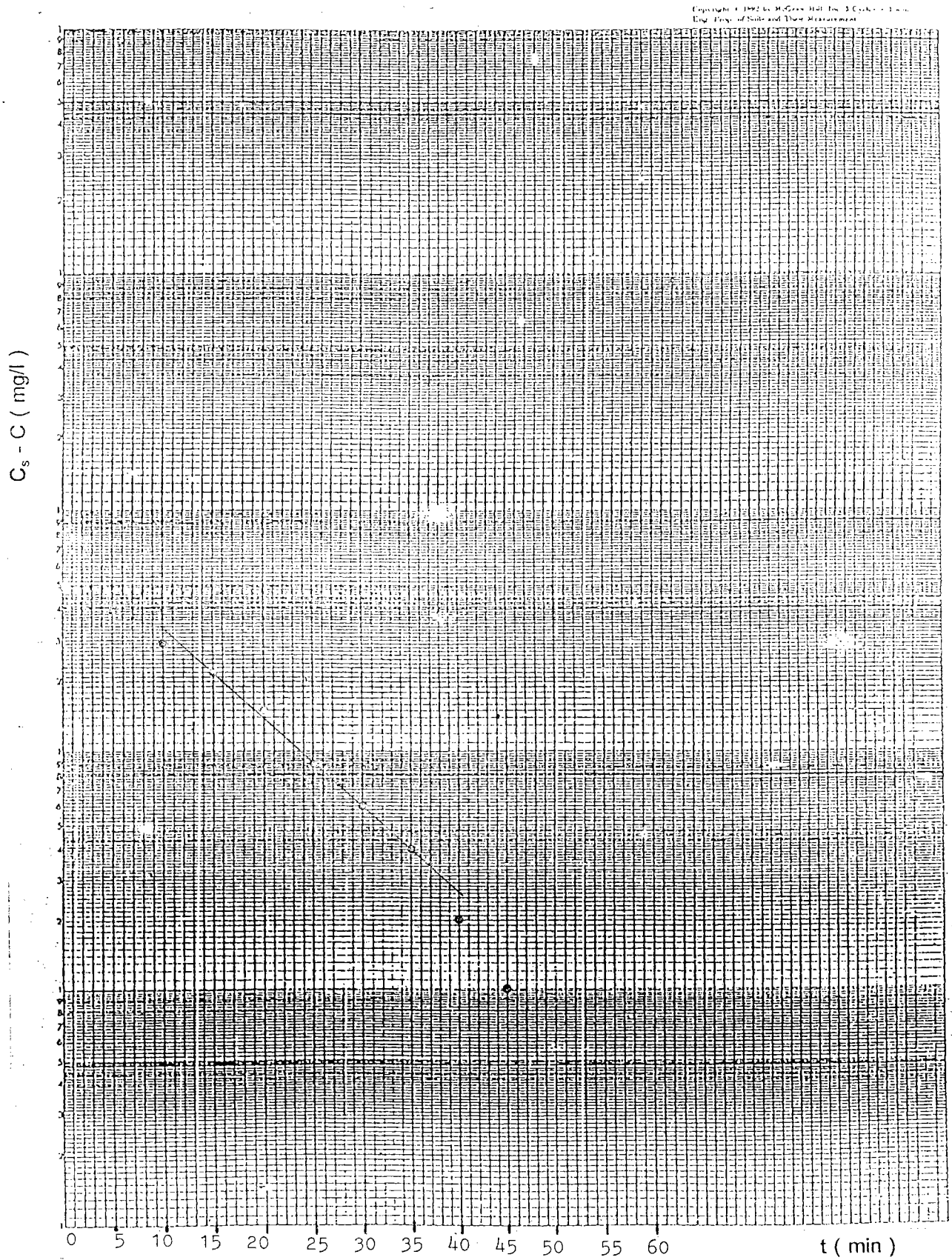
จุดที่ 4, 5, 6 ที่ความลึกได้เวลานี้ 10, 27.5 และ 10 เซนติเมตรจากก้นบ่อ

จุดที่ 7, 8, 9 ที่ความลึกได้เวลานี้ 10, 27.5 และ 10 เซนติเมตรจากก้นบ่อ

จุดที่ 10, 11, 12 ที่ความลึกได้เวลานี้ 10, 27.5 และ 10 เซนติเมตรจากก้นบ่อ

10. พล็อตค่าความขาดแคลนออกซิเจนกับเวลาในกระดาษ semi - log

หัวฉีดชนิดรูตีบ



11. คำนวณหาค่า K_La จากสูตร

$$\begin{aligned}
 K_La \text{ (h}^{-1}\text{)} &= \frac{2.303[\log(C_s - C_1) - \log(C_s - C_2)] \times 60}{t_2 - t_1} \\
 &= \frac{2.303 (\log 2.2 - \log 0.6) \times 60}{30 - 15} \\
 &= \frac{2.303 (0.342) - (-0.221) \times 60}{15} \\
 &= 5.19 \text{ h}^{-1}
 \end{aligned}$$

12. คำนวณค่า K_La ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

$$\begin{aligned}
 K_{La(20)} &= K_{La(28.9)} (1.024)^{20 - 28.9} \\
 &= 5.19 (0.809) \\
 &= 4.19 \text{ h}^{-1}
 \end{aligned}$$

13. คำนวณหาความสามารถในการเติมออกซิเจนที่สภาวะทำการทดสอบ และสภาวะมาตรฐาน

- ความสามารถในการเติมออกซิเจนที่ 28.9

$$\begin{aligned}
 (OC)_{28.9} &= \frac{5.19 \times 7.9 \times 6}{1000} \\
 &= 0.24 \text{ Kg} \cdot \text{O}_2/\text{hr}
 \end{aligned}$$

- ความสามารถในการเติมออกซิเจนที่สภาวะมาตรฐาน

$$\begin{aligned}
 (OC)_{20} &= \frac{4.19 \times 9.4 \times 6}{1000} \\
 &= 0.23 \text{ Kg} \cdot \text{O}_2/\text{hr}
 \end{aligned}$$

14. คำนวณการใช้พลังงานของกรวยเติมอากาศที่ใช้จริงทั้งหมด

- พลังงานที่ใช้จริงทั้งหมด = Wire HP (WHP) =
$$\frac{\text{Ampere} \times \text{Volts} \times \text{Power Factor}}{746}$$
$$= \frac{4.5 \times 215 \times 0.73}{746}$$
$$= \frac{706.2}{746}$$
$$= 0.96 \text{ แรงม้า (HP)}$$
- พลังงานที่ออกมาจากมอเตอร์ = Motor HP (MHP) = Wire HP x Motor Efficiency
$$= 0.94 \times 0.72$$
$$= 0.67 \text{ แรงม้า (HP)}$$

คิดเป็น watts = $0.67 \times 746 = 499.82 \text{ watts}$

15. คำนวณประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนตามการวัดของพลังงาน

- เมื่อเทียบกับการใช้พลังงานจริง

$$\begin{aligned} (\text{OTE})_R &= \frac{0.23}{0.94} \\ &= 0.24 \text{ Kg} \cdot \text{O}_2 / \text{WHP} - \text{hr} \end{aligned}$$

- เมื่อเทียบกับการใช้พลังงานจากมอเตอร์

$$\begin{aligned} (\text{OTE})_M &= \frac{0.23}{0.67} \\ &= 0.34 \text{ Kg} \cdot \text{O}_2 / \text{MHP} - \text{hr} \end{aligned}$$

หมายเหตุ ในกรณีที่ทดสอบการเติมอากาศด้วยระบบเป่าอากาศหรือใช้เครื่องเติมอากาศได้
 คำนวณค่า C_s ของการหาค่าความสามารถในการเติมออกซิเจนที่สภาวะทำการ
 ทดสอบและสภาวะมาตรฐาน (OC) จะต้องเปลี่ยนไปเป็นค่า C_{sc} เพื่อแก้ไข
 เกี่ยวกับ Hydrostatic Pressure ที่เพิ่มขึ้น เขียนเป็นสูตร ได้ดังนี้

$$C_{sc} = C_s \frac{P'}{760}$$

เมื่อ C_{sc} = ค่าออกซิเจนละลายน้ำอิมิต์ที่ระยะครึ่งหนึ่งของความลึกของบ่อทดสอบ

C_s = ค่าออกซิเจนละลายน้ำอิมิต์ที่สามารถทำการทดสอบและสามารถมาตรฐาน

P' = ความดันสมบูรณ์ (absotute pressure) ณ ความลึกใด ๆ ของน้ำในบ่อทดสอบ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร ·ปรอท

ภาคผนวก ข

บันทึกผลการทดลองและขั้นตอนการทดสอบกรวยเติมอากาศ
ด้วยวิธีการเติมอากาศใหม่ในน้ำสะอาด จากการใช้หัวฉีดร่วมชนิดปากผาย ชุด C
ติดตั้งเกลียวผสมไว้ในห้องผสม
โดยมีดีฟิวเซอร์ของความยาวห้องผสม 500 มิลลิเมตร (Cc)
ระยะห่างหัวฉีดชั้นร่วมจากทางเข้าห้องผสม 90 มิลลิเมตร

การทดสอบกรวยเติมอากาศในบ่อทดสอบ เพื่อหาค่า ส.ป.ส. การถ่ายเทออกซิเจน (K_La) ของกรวยเติมอากาศที่สร้างขึ้นในงานวิจัย โดยวิธีการเติมอากาศใหม่ในน้ำสะอาด ให้การไหลของน้ำภายในบ่อไหลวนในขณะที่ทำการเติมอากาศที่สภาวะไม่เสถียร (unsteady state) ซึ่งได้ทำการทดสอบ ณ บริเวณด้านหลังอาคารวิทยาศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์ (บางเขน) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มีขั้นตอนการดำเนินการและข้อมูลดังนี้

1. ข้อมูลสภาวะการทดสอบกรวยเติมอากาศขณะทำการทดสอบมีดังนี้

1.1 ปริมาณน้ำในบ่อทดสอบ : 6 ม³

1.2 ความดัน ณ บริเวณที่ทำการทดสอบประมาณ 1 บรรยากาศ

1.3 อุณหภูมิของน้ำในบ่อทดสอบขณะทดสอบ : 28 องศาเซลเซียส

1.4 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอิ่มตัว (C_s) : 7 มิลลิกรัมต่อลิตร
(จากค่าเฉลี่ย)

1.5 แรงดันไฟฟ้า : 215 โวลท์

1.6 กระแสไฟฟ้า : 4.4 แอมแปร์

1.7 power factor : 71.6 เปอร์เซ็นต์

1.8 ประสิทธิภาพมอเตอร์ : 74 เปอร์เซ็นต์

2. คำนวณหาปริมาณโคบอลต์คลอไรด์ ($CoCl_2$)

ต้องการให้มี $CoCl_2$ ในน้ำ 1 ลิตร อยู่ 1.5 มิลลิกรัม

น้ำที่ใช้ในการทดสอบกรวยเติมอากาศ 6 ม³ ใช้ $CoCl_2$ คิดเป็นน้ำหนัก

$$\begin{aligned}
 \text{จาก } 6000 \times 1.5 &= 9000 \text{ มิลลิกรัม} \\
 &= 9000 \\
 &= \frac{9000}{1000} \\
 &= 9 \text{ กรัม}
 \end{aligned}$$

3. ติดตั้งเครื่องเติมอากาศลงในบ่อทดสอบแล้วเดินเครื่องเติมอากาศเพื่อให้ความเข้มข้นออกซิเจนของน้ำในบ่อมีค่าอิ่มตัว เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยพิจารณาว่าสามารถเติมอากาศลงในน้ำให้ได้ DO ถึงร้อยละ 90 ภายในเวลา 45 นาที

4. วัดค่าความเข้มข้นออกซิเจนของน้ำในบ่อทดสอบที่ระยะ 3/4 ของระยะห่างระหว่างเครื่องเติมอากาศกับผนังบ่อทดสอบคือ

4.1 ระยะ 10 เซนติเมตร ได้ผิวน้ำ

4.2 กึ่งกลางความลึก (27.5 เซนติเมตร)

4.3 ระยะ 10 เซนติเมตร จากก้นบ่อทดสอบ

โดยใช้ดีโอมิเตอร์เพื่อหาค่าออกซิเจนละลายเฉลี่ย นำไปคำนวณปริมาณของ Na_2SO_3 ที่ต้องการใช้

จุดที่ 1 (ระยะ 3/4) (37.5 เซนติเมตร)	ปริมาณออกซิเจนละลาย(มิลลิกรัมต่อลิตร)
ความลึก 10 เซนติเมตร ได้ผิวน้ำ	6.8
กึ่งกลางความลึก (27.5 เซนติเมตร)	7.0
ความลึก 10 เซนติเมตร จากก้นบ่อทดสอบ	6.8
จุดที่ 2	
ความลึก 10 เซนติเมตร ได้ผิวน้ำ	7.2
กึ่งกลางความลึก (27.5 เซนติเมตร)	7.1
ความลึก 10 เซนติเมตร จากก้นบ่อทดสอบ	7.1
จุดที่ 3	
ความลึก 10 เซนติเมตร ได้ผิวน้ำ	7.0
กึ่งกลางความลึก (27.5 เซนติเมตร)	7.0
ความลึก 10 เซนติเมตร จากก้นบ่อทดสอบ	7.0
จุดที่ 4	
ความลึก 10 เซนติเมตร ได้ผิวน้ำ	7.1
กึ่งกลางความลึก (27.5 เซนติเมตร)	7.1
ความลึก 10 เซนติเมตร จากก้นบ่อทดสอบ	7.1
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7 มิลลิกรัมต่อลิตร	

5. นำโคบอลต์ 9 กรัม มาละลายน้ำในบีกเกอร์ที่มีปริมาตรน้ำ 800cc แล้วเติมโคบอลต์ลงในบ่อทดสอบโดยแบ่งบ่อทดสอบออกเป็น 4 จุด เติมโคบอลต์จุดละ 200cc เปิดเครื่องเติมอากาศผสมให้เข้ากัน 1 ชั่วโมง (การเปิดเครื่องเติมอากาศในครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อให้หม้อเตอร์ทำงานในสภาวะเสถียรจะได้วัดกระแสไฟฟ้าได้ถูกต้อง)

6. คำนวณหาปริมาณ Na_2SO_3 (มีค่าออกซิเจนละลายน้ำอิมิตัวจากการเปิดเครื่องเติมอากาศ 45 นาที = 7 มิลลิกรัมต่อลิตร จากค่าเฉลี่ย) ในการลดออกซิเจน ละลาย 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะต้องใช้ Na_2SO_3 เท่ากับ 7.9 มิลลิกรัม ในบ่อทดสอบมีปริมาณ

$$\begin{aligned}
 \text{ออกซิเจนละลายน้ำอิมิตัว (C}_s\text{)} &= 7 && \text{มิลลิกรัมต่อลิตร} \\
 \text{ตามทฤษฎีต้องการ } \text{Na}_2\text{SO}_3 &= 7.9 \times 7 && = 55.30 \quad \text{มิลลิกรัมต่อลิตร} \\
 \text{คิดเป็นน้ำหนัก} &= 6000 \times 55.30 && = 331800.00 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \\
 &= \frac{331800}{1000} \\
 &= 331.80 \quad \text{กรัม}
 \end{aligned}$$

ใส่เพิ่มอีก 99.540 กรัม เพื่อให้เป็นไปในทางปฏิบัติหรือเติมให้เกินจากค่าที่คำนวณได้ ร้อยละ 10 - 20 แต่การทดลองนี้จะใช้ร้อยละ 30

$$\begin{aligned}\text{จะได้น้ำหนัก } \text{Na}_2\text{SO}_3 \text{ ที่ใช้ทั้งหมด} &= 331.80 \times 1.30 \\ &= 431.340 \text{ กรัม}\end{aligned}$$

7. นำ Na_2SO_3 มาละลายน้ำในบีกเกอร์แล้วเทลงไปในบ่อทดสอบทั้ง 4 จุด ที่แบ่งไว้โดยแต่ละจุดที่เทต้องเท่ากัน เปิดเครื่องเติมอากาศเป็นเวลา 15 นาที เพื่อให้ น้ำใน บ่อทดสอบผสมกับ Na_2SO_3 ให้ทั่วถึง แล้วจึงหยุดเครื่องให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ วัดปริมาณออกซิเจนละลายจนมีค่าเท่ากับศูนย์ ดูจากดีไอมิเตอร์

8. เปิดเครื่องเติมอากาศเพื่อเก็บข้อมูลนำมาคำนวณหาค่า K_La โดยวัดค่าดีไอ ทุกระยะ 5 นาที ระยะ 3/4 ระหว่างเครื่องเติมอากาศกับผนังบ่อทดสอบ

8.1 ความลึก 10 เซนติเมตร ได้ผิวน้ำ

8.2 กึ่งกลางความลึกของบ่อทดสอบ (27.50 เซนติเมตร)

8.3 ความลึก 10 เซนติเมตรจากก้นบ่อทดสอบ

โดยจดข้อมูลตั้งแต่พบว่ามีความออกซิเจนที่ละลายน้ำมีค่าวัดได้แน่นอน นำผลการ ทดลองบันทึกไว้ในตาราง 5

9. ได้ค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลาย (C) ที่เวลา t แล้วนำค่าความเข้มข้น ของออกซิเจนละลายอิ่มตัว (C_s) ไปลบจากค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายที่เวลา t ดังตาราง 5

ตาราง 5 ค่าความเข้มข้นออกซิเจนละลายที่เวลา t ณ จุดความลึก

เวลาของการเติมอากาศ (นาที)	C (มิลลิกรัมต่อลิตร) จุดที่												C - C _s (มิลลิกรัมต่อลิตร)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
t ₀ = 0	2.8	2.6	2.6	5.1	5.2	5.3	5.1	5.0	5.0	4.3	4.3	4.3	2.7
t ₁ = 5	3.5	3.5	3.5	5.9	6.0	6.0	5.8	5.8	5.3	5.3	5.3	5.4	1.9
t ₂ = 10	3.5	3.6	3.7	6.2	6.3	6.3	6.3	5.8	6.2	5.8	5.9	5.9	1.6
t ₃ = 15	4.2	4.2	4.3	6.3	6.5	6.5	6.4	6.4	6.4	6.1	6.2	6.2	1.2
t ₄ = 20	4.7	4.7	4.5	6.6	6.7	6.7	6.6	6.6	6.6	6.3	6.3	6.4	1
t ₅ = 25	5.5	5.6	5.6	6.7	6.8	6.8	6.7	6.8	6.7	6.3	6.4	6.4	0.7
t ₆ = 30	5.7	5.8	5.8	6.8	6.9	6.9	6.8	6.8	6.8	6.5	6.7	6.7	0.5
t ₇ = 35	6.0	6.0	6.0	6.9	6.9	6.9	6.8	6.8	6.8	6.7	6.7	6.8	0.4
t ₈ = 40	6.2	6.3	6.2	6.9	7.0	7.0	6.9	6.9	6.9	6.7	6.8	6.8	0.3
t ₉ = 45	6.4	6.5	6.5	7.0	7.0	7.0	6.9	6.9	6.9	6.7	6.7	6.8	0.3
t ₁₀ = 50	6.4	6.5	6.5	7.0	7.0	7.0	7.0	6.9	6.9	6.8	6.9	6.8	0.2
t ₁₁ = 55	6.5	6.5	6.6	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	6.8	6.8	6.8	0.2
t ₁₂ = 60	6.6	6.6	6.6	7.0	7.0	7.0	6.9	6.9	6.9	6.8	6.8	6.8	0.2

หมายเหตุ จุดที่ 1, 2, 3 คือระยะ 3/4 ที่ความลึกได้เวลาน้ำ 10, 27.5 และ 10 เซนติเมตรจากก้นบ่อ

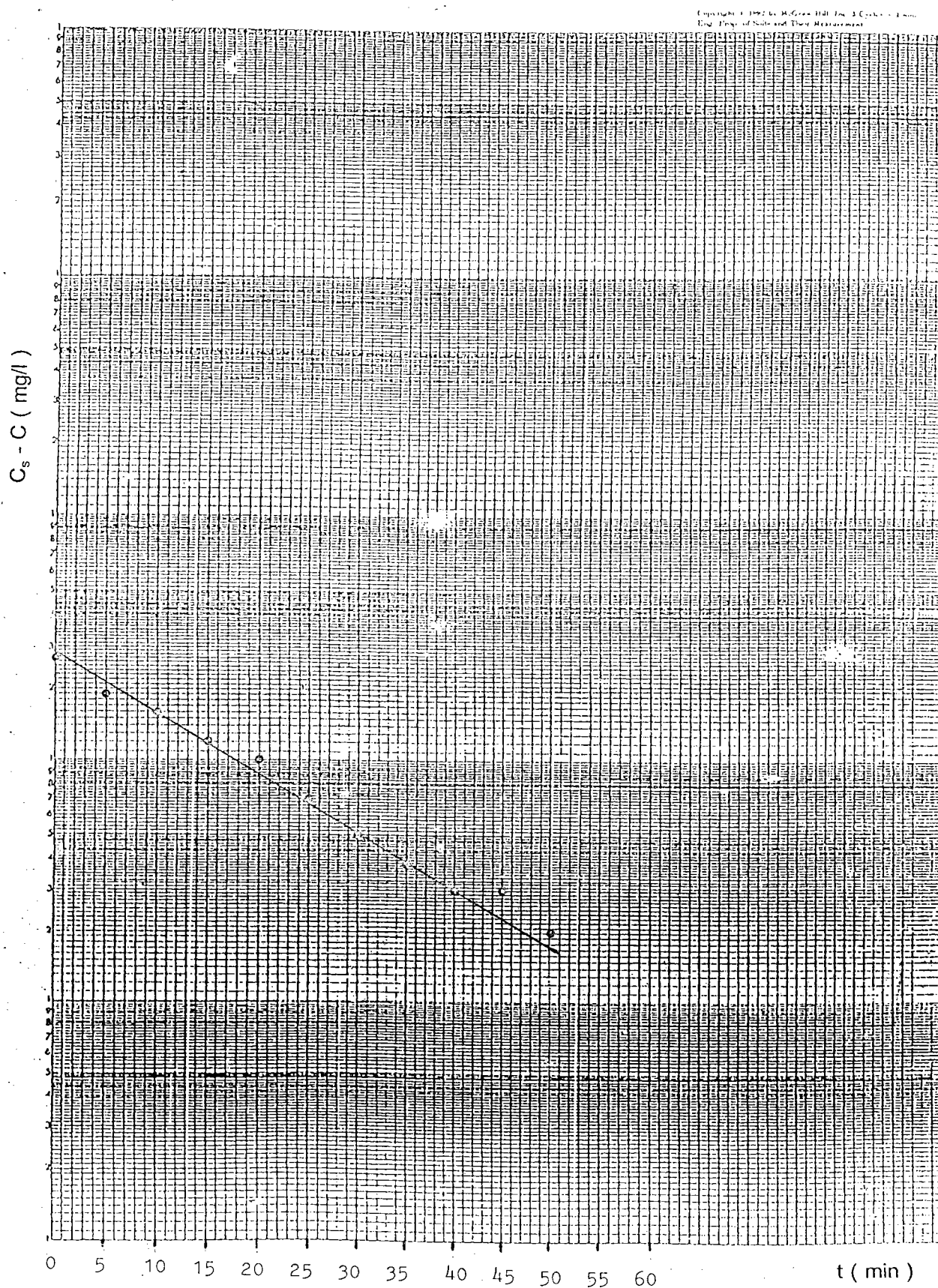
จุดที่ 4, 5, 6 ที่ความลึกได้เวลาน้ำ 10, 27.5 และ 10 เซนติเมตรจากก้นบ่อ

จุดที่ 7, 8, 9 ที่ความลึกได้เวลาน้ำ 10, 27.5 และ 10 เซนติเมตรจากก้นบ่อ

จุดที่ 10, 11, 12 ที่ความลึกได้เวลาน้ำ 10, 27.5 และ 10 เซนติเมตรจากก้นบ่อ

10. พล็อตค่าความขาดแคลนออกซิเจนกับเวลาในกระดาษ semi - log

หัวฉีดร่วมชนิดปากผาย



11. คำนวณหาค่า K_La จากสูตร

$$\begin{aligned}
 K_La \text{ (h}^{-1}\text{)} &= \frac{2.303[\log(C_s - C_1) - \log(C_s - C_2)] \times 60}{t_2 - t_1} \\
 &= \frac{2.303 (\log 1.2 - \log 0.5) \times 60}{30 - 15} \\
 &= \frac{2.303 (0.079) - (-0.301) \times 60}{15} \\
 &= 3.50 \text{ h}^{-1}
 \end{aligned}$$

12. คำนวณค่า K_La ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

$$\begin{aligned}
 K_{La(20)} &= K_{La(28)} (1.024)^{20 - 28} \\
 &= 5.19 (0.827) \\
 &= 2.89 \text{ h}^{-1}
 \end{aligned}$$

13. คำนวณหาค่าความสามารถในการเติมออกซิเจนที่สภาวะทำการทดสอบ และสภาวะมาตรฐาน

- ความสามารถในการเติมออกซิเจนที่ 28 องศาเซลเซียส

$$\begin{aligned}
 (OC)_{28} &= \frac{3.50 \times 7.1 \times 6}{1000} \\
 &= 0.14 \text{ Kg} \cdot \text{O}_2/\text{hr}
 \end{aligned}$$

- ความสามารถในการเติมออกซิเจนที่สภาวะมาตรฐาน

$$\begin{aligned}
 (OC)_{20} &= \frac{2.89 \times 9.4 \times 6}{1000} \\
 &= 0.16 \text{ Kg} \cdot \text{O}_2/\text{hr}
 \end{aligned}$$

14. คำนวณการใช้พลังงานของกรวยเติมอากาศที่ใช้จริงทั้งหมด

- พลังงานที่ใช้จริงทั้งหมด = Wire HP (WHP) =
$$\frac{\text{Ampere} \times \text{Volts} \times \text{Power Factor}}{746}$$
$$= \frac{4.4 \times 215 \times 0.71}{746}$$
$$= \frac{671.66}{746}$$
$$= 0.90 \text{ แรงม้า (HP)}$$
- พลังงานที่ออกมาจากมอเตอร์ = Motor HP (MHP) = Wire HP x Motor Efficiency
$$= 0.90 \times 0.74$$
$$= 0.66 \text{ แรงม้า (HP)}$$

คิดเป็น watts = $0.66 \times 746 = 492.36 \text{ watts}$

15. คำนวณประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนตามการวัดของพลังงาน

- เมื่อเทียบกับการใช้พลังงานจริง

$$\begin{aligned} (\text{OTE})_R &= \frac{0.16}{0.90} \\ &= 0.17 \text{ Kg} \cdot \text{O}_2 / \text{WHP} - \text{hr} \end{aligned}$$

- เมื่อเทียบกับการใช้พลังงานจากมอเตอร์

$$\begin{aligned} (\text{OTE})_M &= \frac{0.16}{0.66} \\ &= 0.24 \text{ Kg} \cdot \text{O}_2 / \text{MHP} - \text{hr} \end{aligned}$$

หมายเหตุ ในกรณีที่ทดสอบการเติมอากาศด้วยระบบเป่าอากาศหรือใช้เครื่องเติมอากาศได้
 คำนวณค่า C_s ของการหาความสามารถในการเติมออกซิเจนที่สภาวะทำการ
 ทดสอบและสภาวะมาตรฐาน (OC) จะต้องเปลี่ยนไปเป็นค่า C_{sc} เพื่อแก้ไข
 เกี่ยวกับ Hydrostatic Pressure ที่เพิ่มขึ้น เขียนเป็นสูตร ได้ดังนี้

$$C_{sc} = C_s \frac{P'}{760}$$

เมื่อ C_{sc} = ค่าออกซิเจนละลายน้ำอิ่มตัวที่ระยะครึ่งหนึ่งของความลึกของบ่อทดสอบ

C_s = ค่าออกซิเจนละลายน้ำอิ่มตัวที่สภาวะทำการทดสอบและสภาวะมาตรฐาน

P' = ความดันสมบูรณ์ (absolute pressure) ณ ความลึกใด ๆ ของน้ำในบ่อทดสอบ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร ·ปรอท

ภาคผนวก ค

ตารางแสดงขนาดและน้ำหนักของผลิตภัณฑ์
ซูฟี่ลีนไนลอน เบอร์ 6

ความจำเป็นในการเลือกใช้ซูพีลีนไนลอน เบอร์ 6 ที่มีรูปหน้าตัดแต่งต้นมาขึ้นรูป ชิ้นงานของส่วนประกอบกรวยเติมอากาศ ดูจากผลการออกแบบในพิมพ์เขียวเพื่อทราบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวที่ต้องการ แล้วนำไปเทียบกับตารางแสดงขนาดและ น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ จุดประสงค์เพื่อความสะดวกในการสั่งซื้อ ดังตาราง 6

ตาราง 6 แสดงขนาดและน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ซูพีลีนไนลอน เบอร์ 6

Size/mm (Ø)	Superlene nylon (Kg/m)
10	0.10
14	0.18
15	0.23
20	0.42
25	0.62
30	0.88
35	1.22
40	1.56
45	1.94
50	2.40
55	2.96
60	3.48
65	4.20
70	4.80
75	5.84
80	6.20
85	7.56
90	7.80
95	8.50
100	9.76
110	11.20
120	13.55
130	15.92
140	18.45
150	21.18
160	24.10
170	27.20
180	30.50
190	33.90
200	37.66

(พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์. 2538 : 84)

ภาคผนวก ง

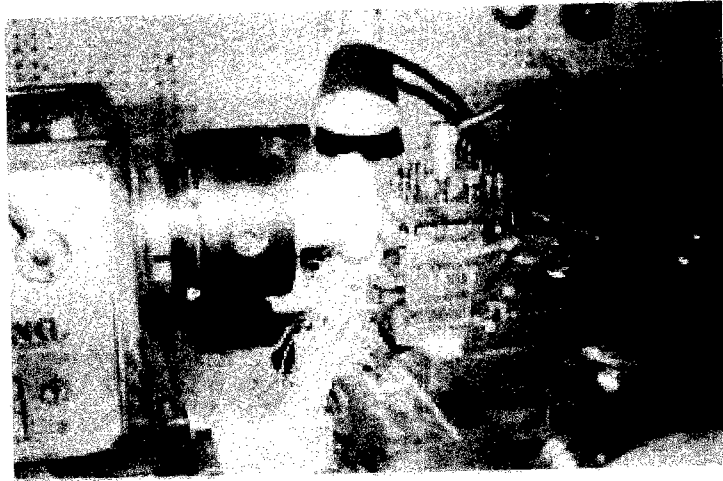
บันทึกผลการทดลองความสามารถในการใช้งานกับน้ำ
จากแหล่งภูมิสถาปัตยกรรมด้วยวิธีการไหลแบบไหลวน

ตาราง 7 บันทึกผลการทดลองหาค่าความขุ่นและปริมาณออกซิเจนละลายก่อนและหลังการเติมอากาศ

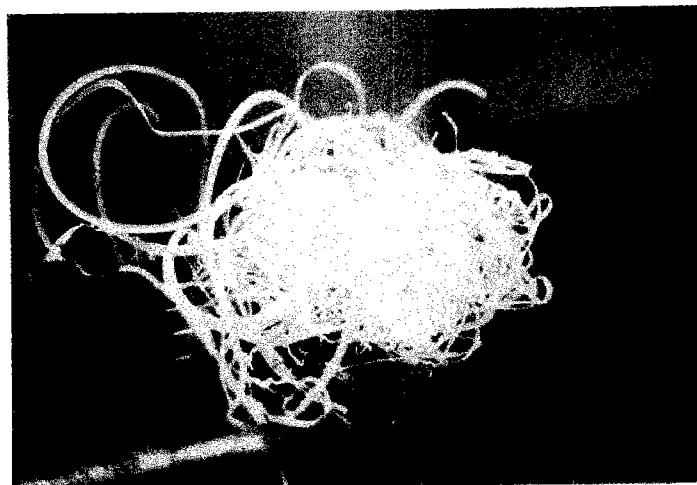
เวลาที่เติมอากาศ (นาที)	ค่าความขุ่น		ปริมาณออกซิเจนละลาย	
	ก่อนเติมอากาศ (NTU)	หลังเติมอากาศ ทิ้งไว้ 1 (NTU)	ก่อนเติมอากาศ (mg/l)	หลังเติมอากาศ (mg/l)
30	42.0	5.45	0.8	7.8
60	42.0	2.79	0.8	8.8
180	38.1	3.40	0.8	9.4

ภาคผนวก จ

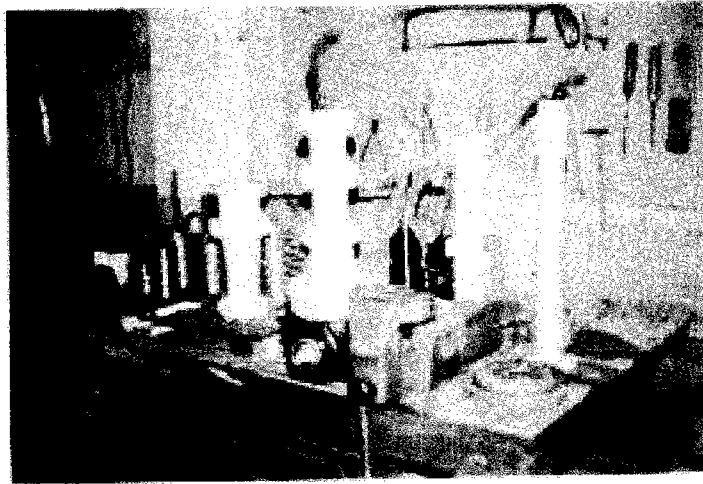
ภาพประกอบผลงานวิจัย



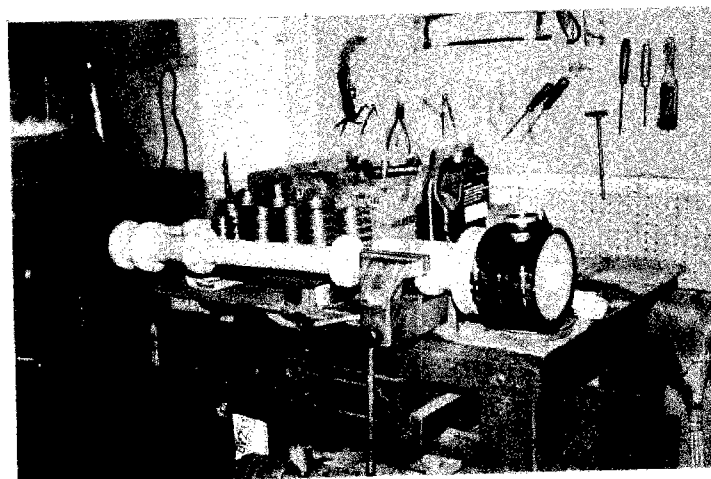
การขึ้นรูปส่วนประกอบกรวยเติมอากาศ



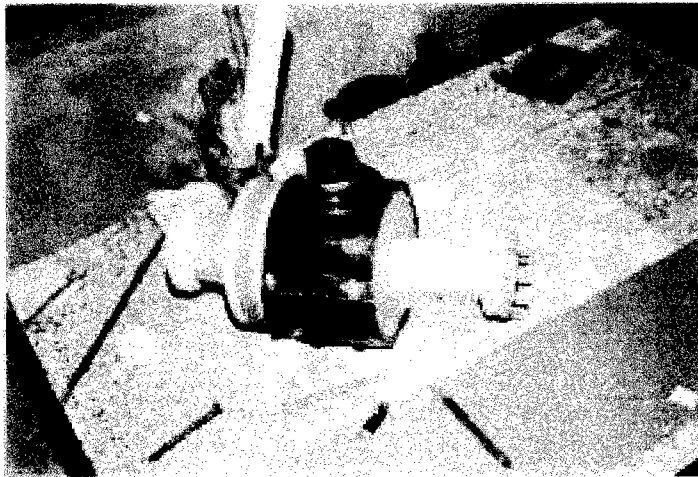
เศษวัสดุ superlene nylon 6 จากการขึ้นรูปส่วนประกอบกรวยเติมอากาศ



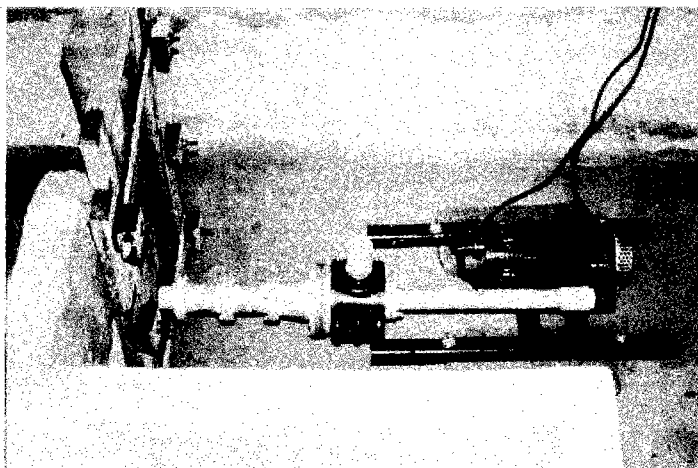
ส่วนประกอบต่าง ๆ ของกรวยเติมอากาศ



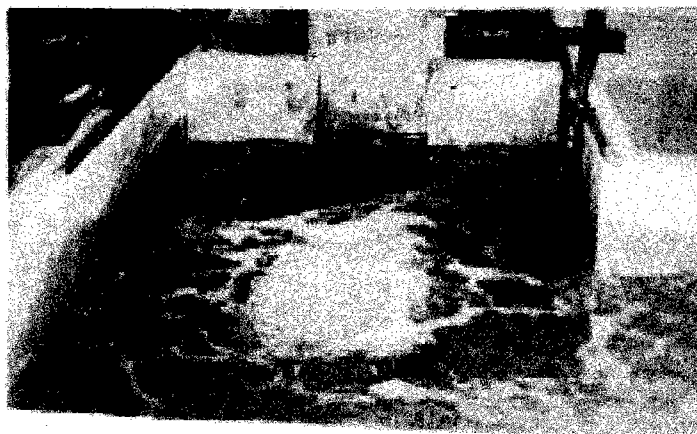
กรวยเติมอากาศเมื่อประกอบ



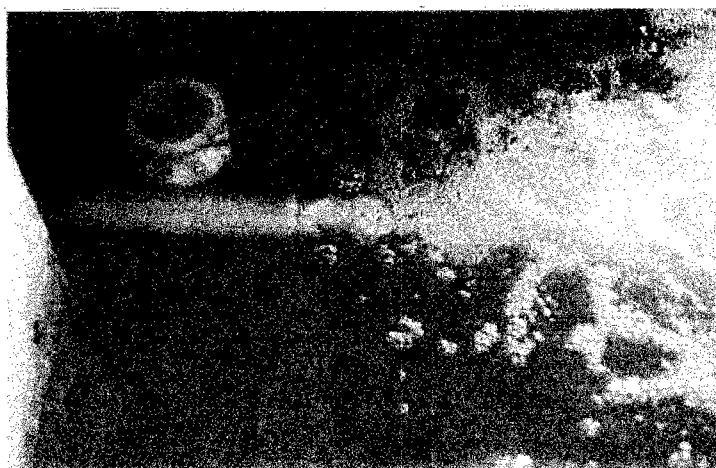
การปรับระยะห่างของหัวฉีด



การติดตั้งกรวยสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีดในบ่อดูดซับ



กรวยเดิมอากาศขณะเดินเครื่อง



ลำของไหลไหลผ่านห้องผสมขณะที่ติดตั้งเกลียวผสม

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ นาย ศรายุทธ ผุดวัฒน์
วัน เดือน ปีเกิด 1 มิถุนายน 2514
สถานที่เกิด อำเภอเมือง จังหวัดตรัง
สถานที่อยู่ปัจจุบัน 109/1 หมู่ 6 ตำบลนาตาล่วง ถนนห้วยยอด อำเภอเมือง
จังหวัดตรัง 92000 โทรศัพท์ (075) 222606

ประวัติการศึกษา

- พ.ศ. 2530 มัธยมศึกษาปีที่ 3 จากโรงเรียนนิเขิรมาตุ
อำเภอเมือง จังหวัดตรัง
- พ.ศ. 2533 มัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนนิเขิรมาตุ
อำเภอเมือง จังหวัดตรัง
- พ.ศ. 2537 คบ. อุตสาหกรรมศิลป์ (แขนงงานออกแบบเขียนแบบ)
จากวิทยาลัยครูพระนคร
- พ.ศ. 2543 กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา) จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ