หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.1 อธิบายเครื่องมือทดลอง

ก่อนที่จะกล่าวถึงแบบจำลองของเครื่องปฏิกรณ์ขอกล่าวรายละเอียดที่ควรทราบ ดังนี้

เนื่องจากในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเครื่องปฏิกรณ์ นั้นจะมีความสูงที่ใช้จริงประมาณ 40-150 เมตร ซึ่งในการทำทดลอง ถ้าใช้ความสูงที่ใช้จริงดังกล่าวมาแล้ว จะต้องลงทุนในการสร้างสูงมากและเสียเวลาในการสร้างพร้อมกันนั้นในการทดลองค่าต่างๆ ทางด้านไฮโดรไดนามิค และ การถ่ายเทมวล อาจจะยุ่งยากและลำบากต่อการวัดค่ามากขึ้นด้วย

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องจำลองแบบของเครื่องปฏิกรณ์ ให้เล็กลงเพื่อจะได้ประหยัดค่าใช้จ่าย เสียเวลาในการสร้างน้อยลง และสะดวกในการทำทดลองให้ง่ายขึ้นด้วย

แต่อย่างไรก็ตามความสำเร็จของการจำลองแบบในการออกแบบและการวิจัยนั้นจะต้องขึ้นอยู่กับรูปแบบและลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์ ด้วย ที่จะทำให้ค่าต่างๆ ทางด้านไฮโดรไดนามิค มีผลใกล้เคียงกันด้วย ดังนั้น ความสูงของส่วนประกอบในรูปแบบต่างๆ ในเครื่องปฏิกรณ์ นั้นจะต้องพยายามทำให้ปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในแบบจำลองนั้นไม่มีผลต่อปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์จริง และรูปแบบจำลองนั้นจะต้องให้ผลทาง ไฮโดรไดนามิค ให้ใกล้เคียงกับรูปแบบจริงด้วย

ข้อที่ควรคำนึงถึงผลกระทบทางด้านรูปร่างที่มีต่อไฮโดรไดนามิคในการออกแบบจำลองของเครื่องปฏิกรณ์ ในการทดลองมีดังนี้ (Chisti, 1989)

-ในแบบจำลองที่มีขนาดเล็กมากนั้นผลกระทบทางด้านพื้นผิวและผลกระทบทางด้านขาเข้า,ขาออกของของไหลในแบบจำลองจะมีผลต่อไฮโดรไดนามิค อย่างมาก

-ความสูงของแบบจำลองที่มีความสูงไม่เพียงพอก็จะมีผลกระทบด้วยเช่น ผลกระทบของตัวพ่นอากาศที่ติดตั้งในแบบจำลองจะมีขึ้นด้วยและจะเป็นสัดส่วนตามปกติตามปริมาตรของแบบจำลองในแต่ละแบบ ซึ่งปกติแล้ว ผลกระทบของตัวพ่นก๊าซที่ติดตั้งในแบบจำลอง จะไม่มากกว่า 60 เซนติเมตรจากตัวพ่นอากาศ

นอกจากผลกระทบทางด้านรูปร่างที่กล่าวดังข้างต้นแล้วยังพิจารณาบางสิ่งที่ค่อนข้างให้ความสำคัญอย่างมากอีกอย่างหนึ่ง ได้แก่ การสังเกตลักษณะผลกระทบทางด้านรูปแบบการไหลของของเหลวและฟองอากาศในแบบจำลองของเครื่องปฏิกรณ์ ด้วยสายตาอีกด้วย

น้ำเสียต่างๆ ที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์นั้นสามารถจะใช้กับของเหลวลอกเลียนแบบได้เช่นเดียวกันซึ่งจะต้องให้คุณสมบัติทางด้าน Rheological เช่น ดัชนีการไหล (n) Consistency Index (K) และ แรงคลาก (τ) และพฤติกรรมทางด้านไฮโดรไดนามิคเหมือนกัน

ของเหลวลอกเลียนแบบนี้ควรสอดคล้องกับน้ำเสียที่ใช้งานจริง มีราคาที่ไม่แพงมาก ปลอดภัย และมีความเสถียรภาพที่เพียงพอทั่วทุกการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์ แบบจำลองตามสภาวะต่างๆ ที่กำหนดไว้ด้วย

เนื่องจากคุณสมบัติของน้ำเสียในเครื่องบำบัดน้ำเสียจริงนั้นจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นจึงต้องจำลองแบบน้ำเสียด้วยของเหลวลอกเลียนแบบซึ่งพอแบ่งได้คร่าวๆ ได้ดังนี้

1. แบบ Newtonian Fluid

น้ำเสียที่มีคุณสมบัติคล้ายน้ำ ของเหลวที่มีพวก Bacterial Yeast ปนพร้อมกันหรืออาจจะมีสารจำพวก TWEEN-20, Silicon Oil, Protein Solution ฯลฯ ที่ละลายปนอยู่กับของเหลวที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งสามารถจะจำลองแบบได้โดยการใช้น้ำก๊อก สารละลายที่มีเกลือปนอยู่ในน้ำแทน

2. แบบ More Viscous Newtonian Fluid

น้ำเสียที่มีลักษณะที่มีความหนืดมากขึ้นและมีลักษณะแบบ Newtonian Fluid สามารถจำลองแบบได้โดยการใช้น้ำที่มี Sugars, Ghycerol และ Ghycols ปนอยู่หรืออาจจะเป็นสารละลายที่เกิดจากการปนกันของสารละลายที่กล่าวมาแล้ว

3. แบบ Non-Newtonian Fluid

น้ำเสียที่มีสารละลายจำพวก Pseudoplastic และ Bingham Plastic ที่มีรูปแบบต่างๆ ที่ซับซ้อนปนอยู่ สามารถจะจำลองแบบได้โดยการใช้สารละลาย Polymer ที่ปนอยู่ในน้ำ ตัวอย่างเช่น สารจำพวก Carboxymethyl Cellulose (CMC), Polyacylamide และ Xanthan Gums

4. Mycelial Slurries

น้ำเสียที่มีคุณสมบัติ Mycelial Slurries สามารถจะจำลองแบบได้โดยการใช้สารแขวนลองจำพวก Fibrous Solid ปนอยู่ในน้ำ ตัวอย่างเช่น Solka-Floc Cellulose Fibre (Grade KS-1016, James River Corporation) ใน 0.15 M Nacl Solution หรือ ในน้ำก๊อก

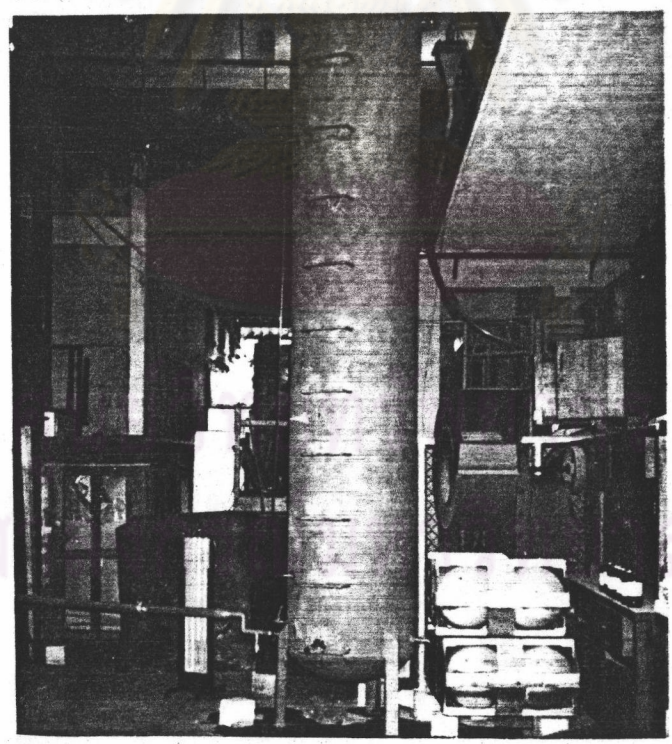
หลักการของเครื่องมือทดลองนี้เป็นเครื่องปฏิกรณ์ ที่มีการจำลองแบบมาจากอุปกรณ์ที่ใช้ในงานจริงซึ่งจะมีขนาดใหญ่มากและจะมีความสูงที่ใช้งานจริงประมาณ 40-150 เมตร ซึ่งจะมีความยุ่งยากมากในการทดลองถ้าใช้ขนาดเท่ากับของจริง ดังนั้น จึงต้องจำลองแบบมาให้มีขนาดความสูง ความกว้างที่พอเหมาะในการทดลองพร้อมกันนี้จะต้องมีผลทางด้านรูปร่างที่มีต่อค่าไฮโดรไดนามิค ในเครื่องปฏิกรณ์จำลองให้มีผลดังกล่าวน้อยที่สุดที่จะทำได้ (Chisti et at.,1989) ซึ่งการสังเกตผลกระทบทางด้านรูปร่าง ที่มีต่อค่าไฮโดรไดนามิค ในเครื่องปฏิกรณ์นั้นสามารถดูได้จากผลการทดลองในการวัดค่าความเร็วของของเหลวและค่าเศษส่วนช่องว่างจากสมการคณิตศาสตร์และจากผลการทดลองว่ามีค่าใกล้เคียงกันขนาดไหนถ้าค่าเหล่านั้นจากสมการคณิตศาสตร์และจากผลการทดลองแตกต่างกันมากแสดงว่ามีผลกระทบทางด้านรูปร่างต่อค่าไฮโดรไดนามิคในแบบจำลองนั้นซึ่งการทำการทดลองนั้นแล้วนอกจากอุปกรณ์จำลองของเครื่องปฏิกรณ์ยังคงมีอุปกรณ์ต่างๆและวัสดุที่เกี่ยวข้องในการทำการทดลองจะมีดังต่อไปนี้

ของเหลวที่จะมาใช้ในการทดลองนั้นจะใช้ของเหลวจำลองซึ่งมีความหนืดของของเหลวที่แตกต่างกันซึ่งในการทดลองครั้งนี้ใช้น้ำตาลผสมกับน้ำเพื่อให้ของเหลวมีความหนืดขึ้นนอกจากนั้นแล้วยังมีเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เพื่อใช้ในการให้อากาศแก่ของเหลว อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่า ดีโอ (Dissolved Oxygen) ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ จะใช้เครื่องหาค่าดีโอแบบ Membrane Electrode System ซึ่งจากเครื่องมือทั้งหมดนี้ก็เพื่อหาค่าต่างๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อของวัตถุประสงค์ของการวิจัย ก็คือ การทดลองหาค่าต่างๆ ทางด้านไฮโดรไดนามิค และทางด้านการถ่ายเทมวล อันได้แก่ ความเร็วของของเหลว เศษส่วนช่องว่าง สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของปริมาตรทั้งหมด และค่าเศษส่วนเข้าใกล้สู่สมดุลโดยที่การคำนวณและการออกแบบในการสร้างเครื่องมือทดลองสามารถจะแยกออกเป็นส่วนต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

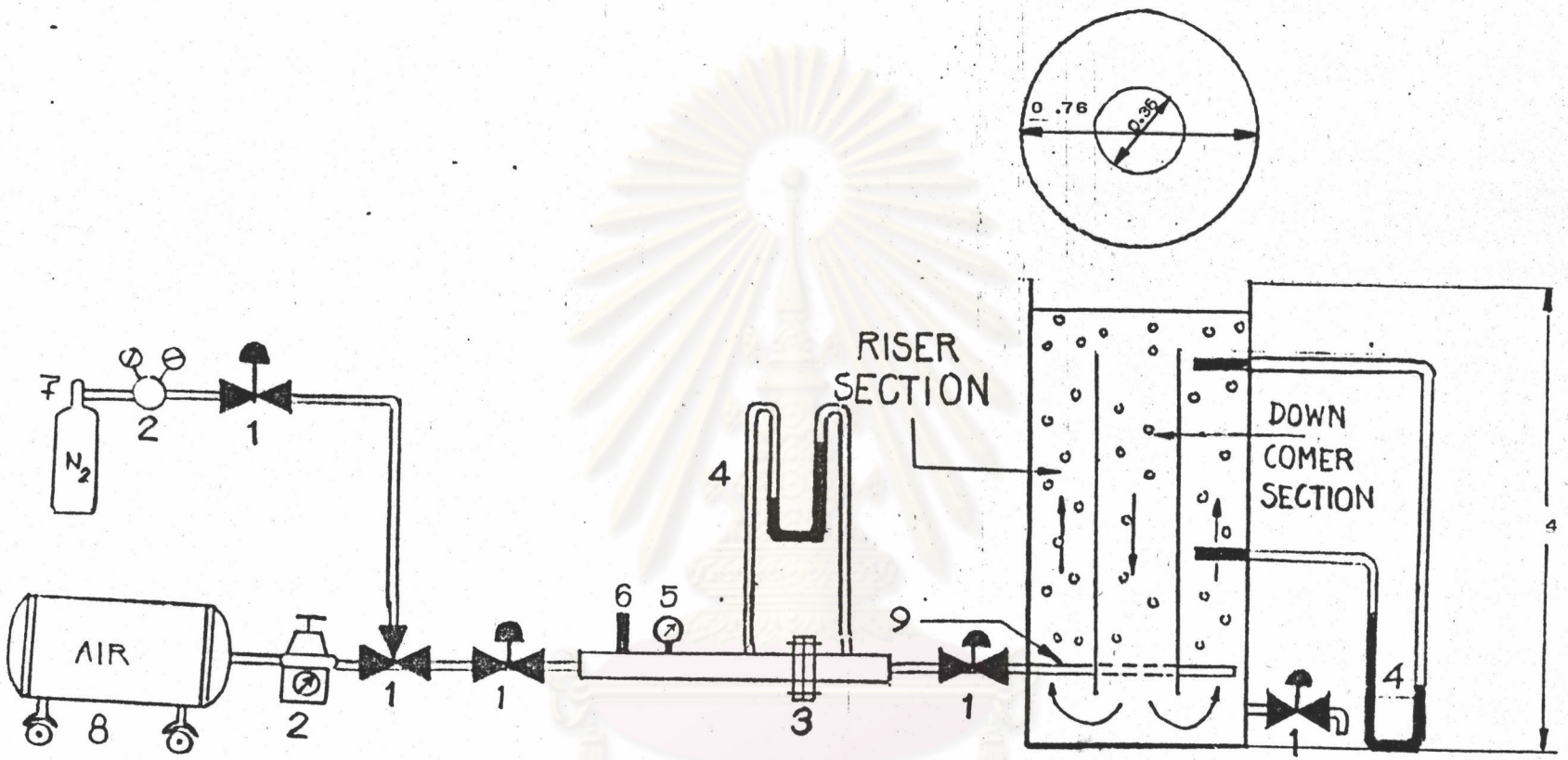
3.1.1. <u>แบบจำลองของเครื่องปฏิกรณ์</u>

แบบจำลองของเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลองในเรื่องนี้นับได้ว่าเป็นเครื่องมือที่สำคัญที่สุดในการทดลองซึ่งเครื่องปฏิกรณ์ นั้นจะมีลักษณะหลายรูปแบบแต่ในการวิจัยครั้งนี้จะใช้เครื่องปฏิกรณ์ที่มีลักษณะเป็นแบบท่อร่วมศูนย์กลางโดยสามารถแบ่งส่วนต่างๆ ของเครื่องปฏิกรณ์นั้นออกเป็น 2 ส่วน อันได้แก่

1. ส่วนที่เป็น Riser Section ซึ่งจะมีพื้นที่หน้าตัดใหญ่กว่าพื้นที่หน้าตัดส่วน Downcomer Section ดังรูปที่ 3.1(a) และ 3.1 (b)โดยทางด้าน Riser Section จะมีตัวพ่นอากาศ ทำหน้าที่ปล่อยฟองอากาศเพื่อทำให้เกิดการหมุนเวียนของของเหลวภายในต่อเครื่องปฏิกรณ์ซึ่งเป็นผลทำให้ไม่ต้องใส่กลไกจากภายนอกแทนตัวพ่นอากาศในการหมุนเวียนของของเหลว พร้อมทั้งจะให้ประสิทธิภาพในการดำเนินงานดีกว่าและในขณะเดียวกันนั้นการปล่อยฟองอากาศยังเป็นการเพิ่มปริมาณก๊าซออกซิเจนให้กับของเหลวอีกด้วย โดยแบบจำลองของเครื่องปฏิกรณ์นั้นประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.1(a) ภาพจำลองของเครื่องปฏิกรณ์ ในการทดลอง



1. วาลว์
2. เรกกุเลเตอร์
3. ออริฟิควัดอัตราการไหลอากาศ
4. มาโนมิเตอร์
5. มิเตอร์วัดความดัน
6. เทอร์โมมิเตอร์
7. ถังก๊าซไนโตรเจน
8. เครื่องอัดอากาศ
9. ตัวพ่นอากาศ

รูปที่ 3.1 (b) แผนภาพรวมของอุปกรณ์และเครื่องมือที่ทำการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.1.1 ตัวถังของเครื่องปฏิกรณ์

ตัวถังของเครื่องปฏิกรณ์จำลอง จะประกอบไปด้วยแผ่นเหล็กแผ่นที่หนึ่งโดยมีความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร มาม้วนให้มีลักษณะทรงกระบอกซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.762 เมตร และมีขนาดความสูงประมาณ 4 เมตร โดยจะเรียกส่วนที่กล่าวมานี้ว่า Column-Tube ซึ่งส่วนหนึ่งของ Column-Tube มีลักษณะเป็นแผ่นพลาสติกใสเพื่อจะได้ดูศึกษารูปร่างของฟองอากาศได้อย่างชัดเจนโดยแผ่นพลาสติกใสนั้นจะมีขนาดกว้างประมาณ 0.27 เมตร และสูงประมาณ 0.35 เมตร ซึ่งจะอยู่ช่วงกึ่งกลางของ Column-Tube และแผ่นเหล็กแผ่นที่สองจะมีความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร เช่นเดียวกันซึ่งจะนำแผ่นเหล็กที่สองมาม้วนให้มีลักษณะทรงกระบอก โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.355 เมตร และมีความสูงประมาณ 3 เมตร และจะเรียกทรงกระบอกแผ่นที่สองนี้ว่า Draught-Tube ซึ่งแผ่นเหล็กทรงกระบอกที่เรียกว่า Column-Tube ไว้ด้านนอกและนำแผ่นเหล็กทรงกระบอกที่เรียกว่า Draught-Tube อยู่ด้านในของ Column-Tube ดังรูปที่ 3.1(b) โดยที่จุดศูนย์กลางตามพื้นที่หน้าตัดของ Column-Tube กับ Draught-Tube จะต้องตั้งในแนวที่ตรงกัน จึงเป็นผลทำให้มีการไหลของของเหลวในเครื่องปฏิกรณ์และสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน ซึ่งได้แก่ 1. ส่วนทางด้าน Riser Section 2. ส่วนทางด้าน Downcomer Section โดยที่ 2 ส่วนดังกล่าวนี้จะทำให้เกิดการไหลเวียนของของเหลวในเครื่องปฏิกรณ์ซึ่งจากการที่มี Column-Tube และ Draught-Tube เป็นผลทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนของฟองอากาศกับของเหลวได้ดีและทั่วถึง ดังนั้นจึงเป็นประโยชน์มากกว่าแบบ Bubble Column-Tube ซึ่งมีลักษณะคล้ายเครื่องปฏิกรณ์เพียงแต่ไม่มี Draught-Tube เพราะว่าการไหลเวียนของของเหลวใน Bubble Column มีเพียงเล็กน้อยและระยะเวลาของฟองอากาศที่สัมผัสกับน้ำมีระยะเวลาสั้น

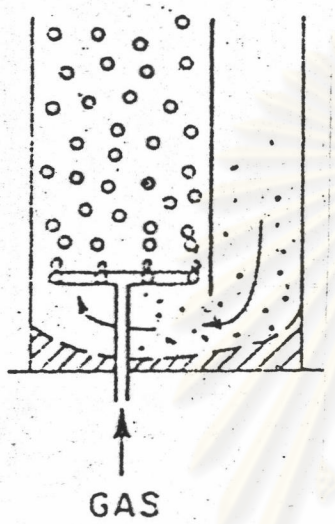
ส่วนบริเวณก้นของเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อร่วมศูนย์กลาง นั้นจะมีลักษณะแบบโค้งมนเหมือนรูปกะทะเนื่องจากต้องการให้มีการไหลของของเหลวที่เรียบ (smooth) เพื่อจะให้เกิดแรงเสียดทานน้อยที่สุด

3.1.1.2 ตัวพ่นอากาศ

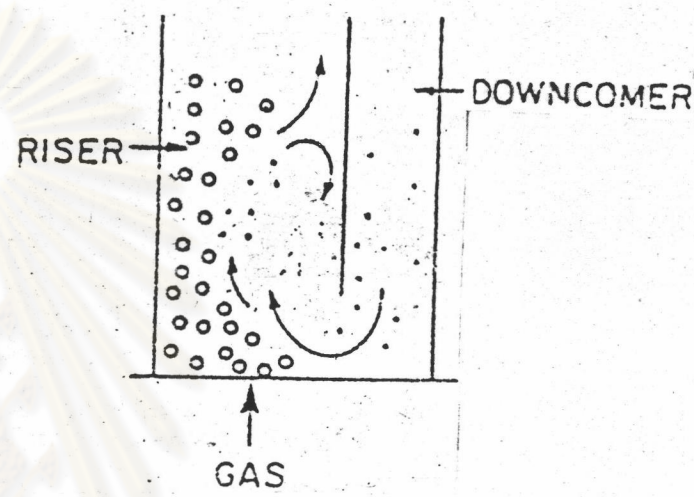
ตัวพ่นอากาศจะทำหน้าที่พ่นฟองอากาศให้กับของเหลว เพื่อจะทำให้เกิดการไหลเวียนของของเหลวในเครื่องปฏิกรณ์ นั้นเอง โดยที่ตัวพ่นอากาศ นี้ทำมาจากทองแดงซึ่งมีลักษณะเป็นท่อมาม้วนให้เป็นวงแหวน จำนวน 3 วงแหวน และมีขนาดของท่อทั้ง 3 วงเหมือนกันมาซ้อนกันโดยมีจุดศูนย์กลางของวงแหวนตั้งแนวให้ได้ตรงกัน

โดยระดับตัวพ่นอากาศนี้จะต่อกับเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) ซึ่งตัวพ่นอากาศควรจะสูงกว่าช่วงต่อด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์ระหว่างด้าน Riser Section และ Downcomer Section เล็กน้อย ดังรูป 3.2 (a) เนื่องจากถ้า ตัวพ่นอากาศอยู่ตรงช่วงต่อหรือ

ต่ำกว่าระหว่าง Riser Section และ Downcomer Section จะเป็นผลทำให้เกิดการรวมตัวกันของฟองอากาศมากขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดการขัดขวางของของเหลวดังรูปที่ 3.2 (b)



รูปที่ 3.2 (a)ภาพการไหลของของไหล เมื่อตัวพ่นอากาศติดสูงกว่าช่วงต่อ



รูปที่ 3.2 (b) ภาพการขัดขวางของของเหลว เมื่อตัวพ่นอากาศติดตั้งต่ำกว่าช่วงต่อ

3.1.2 <u>เครื่องอัดอากาศ</u> (Air Compressor)

เนื่องจากกำลังที่จะใช้ในการทดลองครั้งนี้ต้องมีกำลังที่เพียงพอซึ่งสามารถปั๊มอากาศเพื่อให้ฟองอากาศแก่ของเหลวที่นำมาทดลองนั้นได้ โดยระหว่างเครื่องอัดอากาศกับตัวพ่นอากาศนั้นจะมีมิเตอร์วัดอัตราการไหลของอากาศ และ วาล์วโดยวาล์วมีไว้เพื่อสามารถปรับค่า อัตราการไหลของอากาศได้ตามที่ต้องการ

3.1.3 <u>มิเตอร์วัดอัตราการไหลของอากาศ</u> (Air Flow Meter)

มิเตอร์ที่ใช้วัดอัตราการไหลของอากาศในการทดลองครั้งนี้จะใช้แบบ Orific Plate with D and D/2 TAPPINGS ตามมาตรฐานของ INTERNATIONAL STANDARD ISO 5167 ซึ่งจะติดตั้งอยู่ในช่วงของตัวพ่นอากาศ และ วาล์วปรับอัตราการไหลของอากาศ โดยมีค่า

The diameter ratio, $\beta=d/D$ = 0.28 เมื่อ Upstream Internal Pipediameter, D มีค่าเท่า 17/8" ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งอุปกรณ์ทดลองรวมแสดงดังรูปที่ 3.1(b)

3.2 การวัดข้อมูลและเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง

การวัดข้อมูลเพื่อหาค่าต่างๆ ทางด้านไฮโดรไดนามิคและทางด้านการถ่ายเทมวลของก๊าซกับของเหลวนั้นจำเป็นจะต้องวัดค่าที่สำคัญซึ่งเมื่อการวัดค่าต่างๆ เสร็จเรียบร้อยแล้วจึงค่อยคำนวณหาค่าต่างๆ ที่จะต้องใช้เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป ซึ่งมีดังต่อไปนี้

3.2.1 ค่า True Linear Liquid Velocity หรือ Institial Liquid Velocity, (V_L)

การวัดค่า True Linear Liquid Velocity จะต้องใช้เครื่องมือที่ต้องวัดค่าความเร็วของของเหลวในเครื่องปฏิกรณ์ซึ่งการวัดค่า True Linear Liquid Velocity จะใช้วิธีแบบ Tracer Method ซึ่งจะมีความแม่นยำค่อนข้างมากและวิธีที่ว่านี้มีอุปกรณ์และสารเคมีที่จะใช้ดังต่อไปนี้

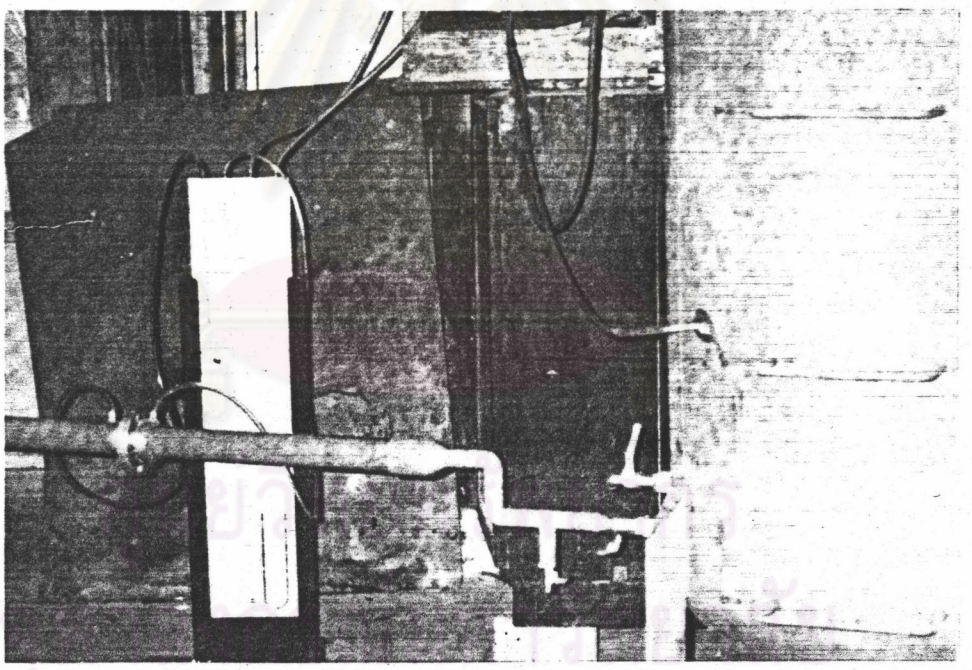
3.2.1.1 กรดซัลฟุริคเข้มข้น

กรดซัลฟุริคเข้มข้นดังกล่าวนี้ซึ่งจะใช้เป็นตัวกลางในการคำนวณหาค่า True Linear Liquid Velocity นั้นจะใช้กรดซัลฟุริคมีความเข้มข้นประมาณ 8 M ในการทดลองและจะใช้ปริมาณเพียง 0.5-0.8 ลิตรต่อครั้งของการวัดค่า True Linear Liquid Velocity (Chisti et al., 1989) โดยการวัดค่านั้นจะต้องเทกรดซัลฟุริคเข้มข้นนี้ลงไปทางช่วงบนของด้าน Downcomer Section ซึ่งหลังจากการเทกรดซัลฟุริคลงไปแล้วกรดซัลฟุริคเข้มข้นนี้จะละลายปนกับของเหลวที่ใช้ในการทดลองและจะไหลไปสู่ช่วงล่างของด้าน Downcomer ซึ่งด้าน Downcomer นั้นจะติดตัว PH-electrode จำนวน 2 ตัว ซึ่งตัว PH-electrode ทั้ง 2 ตัวนี้ จะอยู่ห่างกันเป็นระยะทางที่กำหนดไว้ จุดประสงค์ในการใช้กรดเข้ามาช่วยนั้นก็เพื่อจะทำให้ทราบว่ากรดซัลฟุริคที่ละลายปนกับของเหลวทางด้าน Downcomer นี้มาถึงตัว PH-electrode แต่ละตัวแล้วหรือยัง นอกจากการใช้กรดซัลฟุริคเป็นตัวกลางแล้วยังใช้น้ำร้อนแทนกรดซัลฟุริคได้และเปลี่ยนตัว PH-electrode เป็น Thermal-electrode แทน ซึ่งวิธีหลังนั้นต้องเสียเวลาในการเตรียมน้ำร้อนและยุ่งยากในการทำการทดลอง

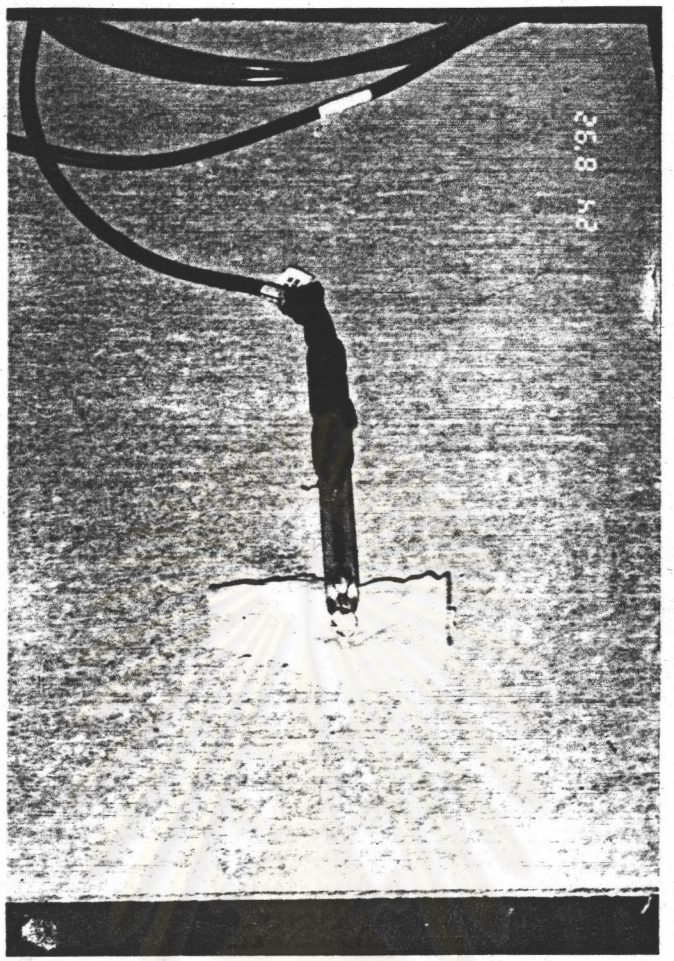
3.2.1.2 PH-electrode

ตัว PH-electrode นั้นจะมีลักษณะ รูปร่างเป็นกระเปาะและจะมีหัวทางด้านปลายกระเปาะ ซึ่งส่วนหัวนั้นสามารถตรวจ จับความเข้มข้นของสารเคมีโดยกระเปาะและหัวของ PH-electrode แสดงดังรูปที่ 3.4

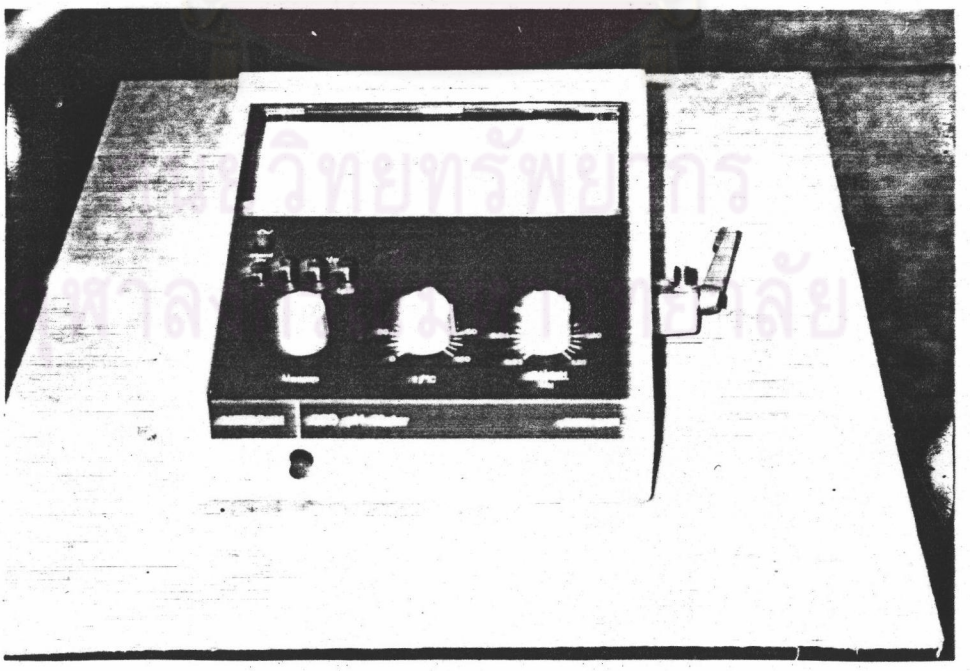
ซึ่งกระเปาะของ PH-electrode จะติดอยู่ในช่วงประมาณกึ่งกลางของท่อด้าน Downcomer Section เนื่องจากถ้าหัวของ PH-electrode นั้นอยู่ใกล้กับผนังท่อเกินไปอาจจะเป็นผลทำให้การวัดค่า True Linear Liquid Velocity ผิดพลาดได้เพราะยิ่งใกล้กับผนังท่อเท่าใดค่าความเร็วของของเหลวจะน้อยลงเมื่อเทียบกับความเร็วของของเหลวที่ช่วงจุดกึ่งกลางของท่อ ส่วนหัวของ PH-electrode เมื่อสัมผัสกับสารเคมีแล้วจะทำให้เกิดสัญญาณขึ้น จึงเป็นผลทำให้ทราบว่าสารละลายกรดซัลฟุริคนั้นได้ผ่านมาถึงตัว PH-electrode ทั้ง 2 แล้วหรือยังโดยสังเกตที่เข็มของ PH Meter ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.3 มิเตอร์วัดอัตราการไหลของอากาศแบบ Orific Plate with D and D/2 tapping



รูปที่ 3.4 หัววัดค่า PH ของ PH-Meter



รูปที่ 3.5 ภาพ PH-Meter

3.2.1.3 นาฬิกาจับเวลา

ขณะที่สารละลายกรดซัลฟุริคได้มากถึงตัว PH-electrode ตัวแรกก็เริ่มต้นในการจับเวลาและเมื่อสารละลายกรดซัลฟุริคเคลื่อนที่ลงมาถึงตัว PH-eletrode ตัวที่สองก็จะหยุดการจับเวลาซึ่งสมมติว่ามีค่าเท่ากับ t

จากสมการที่ใช้ คือ $V_{Ld} = \frac{d_{electrodes}}{t}$

จากสมการนี้จึงทำให้ทราบค่า True Linear Liquid Velocity ทางด้าน Downcomer Section ได้เมื่อ $d_{electrodes}$ เป็นระยะทางห่างของตัว PH-electrode ทั้งสองตัว โดยที่ระยะทางห่างของตัว PH-electrode ทั้งสองตัวนี้จะกำหนดขึ้นมาเองตามความเหมาะสม

3.2.2. ค่าเศษส่วนช่องว่าง($\hat{\varepsilon}$)

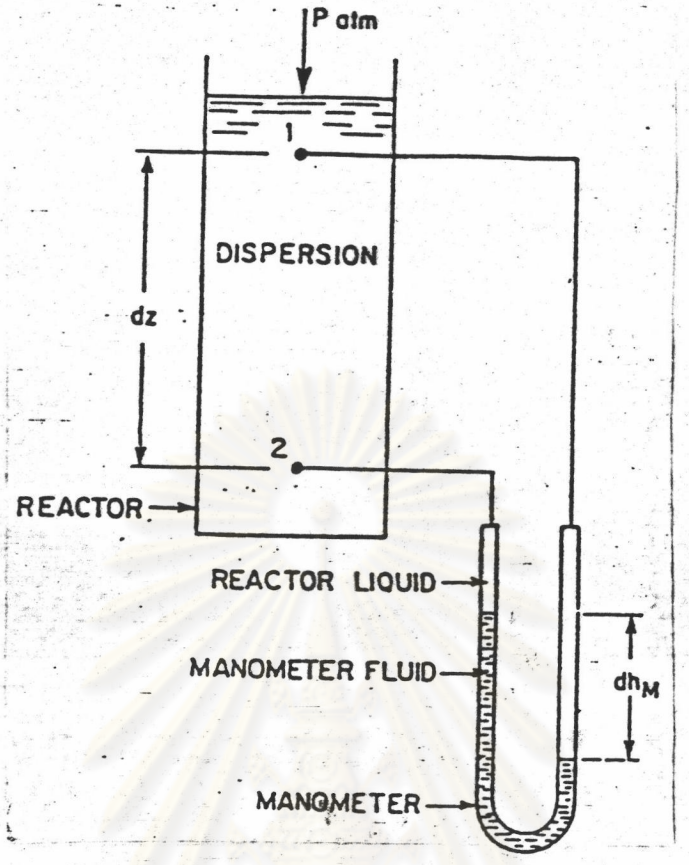
ค่าเศษส่วนช่องว่าง ที่ทำการทดลองครั้งนี้จะใช้เทคนิคการวัดแบบ Manometric Technique โดยที่เครื่องมือที่ใช้วัดนั้นเป็นแบบ U-Tube Manometer โดยจะติดตั้งมาไมมิเตอร์ไว้ทางด้านนอกของท่อ Draught-tube และ Pressure Tapping จะอยู่ด้านในท่อ Draught-tube ซึ่งรูของ Pressure Tapping มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร โดยวิธีการวัดค่าเศษส่วนช่องว่างของด้าน Riser จะมีการคำนวณดังข้างล่างนี้ การวัดค่าเศษส่วนช่องว่างทางด้าน Riser ในที่นี้จะใช้วิธีแบบ Manometric Technique โดยสามารถแบ่งการวัดได้เป็นแบบ Inverted U-Tube และแบบ U-Tube แต่ในการทดลองครั้งนี้ใช้แบบ U-Tube

รายละเอียดและข้อมูลในการคำนวณมีดังนี้

1. สำหรับ U-Tube Manometer

ค่าเศษส่วนช่องว่างเฉลี่ยระหว่าง จุด 1 และ จุด 2 ของท่อ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.6 ภาพเทคนิคการวัดแบบ U-Tube มาโนมิเตอร์

จะได้สมการการหาค่าเศษส่วนช่องว่างดังต่อไปนี้

$$\varepsilon = \frac{\rho_M - \rho_L}{\rho_L - \rho_G} \times \frac{dh_M}{dz}$$

เมื่อ

ρ_L = ความหนาแน่นของของเหลว (kg/m^3)

ρ_G = ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

ρ_M = ความหนาแน่นของของเหลวในมาโนมิเตอร์ (kg/m^3)

dz = ระยะที่แตกต่างตามแนวดิ่งของของไหล (m)

dh_M = ระยะที่แตกต่างตามแนวดิ่งของของเหลวในมาโนมิเตอร์ (m)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ส่วนมาโนมิเตอร์ที่ติดตั้งทางด้านท่อ Column-Tube นั้นจุดประสงค์เพื่อจะหาค่าเศษส่วนช่องว่างของด้าน Downcomer

3.2.3 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของปริมาตรทั้งหมด ,(k_La_L)

การวัดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของปริมาตรทั้งหมดนั้นจะต้องเกี่ยวข้องกับการวัดค่า ดีโอ (Dissloved Oxygen) ด้วย การวัดค่า ดีโอ นี้จะมีวิธีการหาค่า ดีโอ ได้หลายวิธี แต่ในการทดลองครั้งนี้จะหาค่า ดีโอ โดยใช้วิธีแบบ Membrane Electrode Method ซึ่งวิธีดังกล่าวนี้สามารถลดปัญหาที่เกี่ยวข้องกับสิ่งรบกวนต่างๆ ได้ภายใต้สภาวะที่คงที่และสามารถแจกแจงเป็นส่วนต่างๆ ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของปริมาตรทั้งหมดได้ดังนี้

3.2.3.1 เครื่องมือวัดค่า ดีโอ (Dissolved Oxygen)

เครื่องมือที่วัดค่าดีโอที่ใช้ในการทดลองนี้จะใช้แบบ Membrance Electrode Method การหาค่า ดีโอ โดยวิธีต่างๆ บางวิธียังไม่เหมาะสมที่จะใช้ในภาคสนามและในการวิเคราะห์อย่างต่อเนื่องในการหาค่า ดีโอ ซึ่งเครื่องมือวัดค่า ดีโอ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

สำหรับวิธี Polarographic โดยใช้ Dropping Mercury Electrode หรือ Rotating Platimum Electrode ก็ไม่ได้ให้ผลที่น่าเชื่อถือได้เสมอไป เพราะสารรบกวนที่มีอยู่ในของเหลวบางอย่างจะมีผลทำให้ Electrode เสียได้ แต่ถ้าใช้ Electrode ที่มี Membrane กั้นอยู่ ปัญหาเหล่านี้จะแก้ได้เพราะตัว Sensing Element ถูกป้องกันโดย Oxygen Permeable Plastic Membrane ซึ่งจะเป็นตัวกันไม่ให้พวกสารรบกวนผ่านไปโดน Electrode ได้ ภายใต้สภาวะที่คงตัว โดยที่กระแสไฟฟ้าจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเข้มข้นของค่า ดีโอ ที่มีอยู่ในสารละลายที่ทำการทดลอง

Membrane Electrodes ชนิด Polarographic หรือ Galvanic Type จะใช้ประโยชน์ได้มากในการวัดค่า ดีโอ เช่น ในของเหลวที่มีสีและมีสารรบกวนต่างๆ ส่วนการหาค่าดีโอโดยวิธีต่างที่ไม่ใช่วิธีนี้จะไม่สามารถให้ผลวิเคราะห์ที่ถูกต้องนัก

หลักการของวิธีแบบ Membrane Electrode Method คือ Oxygen-Sensitive Membrane Electrodes ไม่ว่าจะเป็นแบบ Polarographic หรือ Galvanic Type จะประกอบไปด้วย Electrode ซึ่งเป็นโลหะสองอันโดยจะแช่อยู่ใน Electrolyte เช่น สารจำพวก KCL ทางปลายของ Electrodes จะมีเยื่อบางๆ (Membrance) กั้นอยู่ ความแตกต่าง

ระหว่าง Galvanic Type และ Polarographic ก็คือ ปฏิกิริยาที่เกิดใน Electrode สำหรับ Galvanic จะเป็นไปอย่างช้าๆ แต่ใน Polarographic System จะมี Voltage จากภายนอกมาทำให้ Polarize ขึ้นใน Indicator Electrode Membrane ที่ใช้กั้น Electrode มักใช้ Polyethylene และ Teflon Membranes เพราะทั้งสองชนิดนี้ยอมให้ Molecule ของออกซิเจนผ่านได้

สำหรับ Membrane Eletrodes นั้น มีหลักว่า เมื่อเวลาที่ออกซิเจน แพร่ผ่าน Membrane จะทำให้เกิดกระแสขึ้นซึ่งกระแสที่เกิดขึ้นนั้นจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับ โมเลกุลของออกซิเจน ในสารละลายที่ทำการทดลอง ซึ่งกระแสที่เกิดขึ้นนั้น สามารถเปลี่ยนให้อยู่ในหน่วยของความเข้มข้น เช่น มก. ต่อ ลบ.กม

3.2.3.2 ก๊าซที่ใช้ในการทดลอง

ก๊าซที่จะใช้ช่วยในการคำนวณหาค่าของ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของปริมาตรทั้งหมด ,(k_La_L) จะใช้ก๊าซไนโตรเจน (N_2) นำมาไล่ก๊าซออกซิเจนในของเหลว ซึ่งนำมาทดลองในเครื่องปฏิกรณ์จำลองเพื่อจะได้ค่า ดีโอ ของของเหลวที่มีค่าเป็นศูนย์ หลังจากการทำให้ของเหลวมีค่า ดีโอ เป็นศูนย์ แล้วจึงทำการหาค่าของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลปริมาตรทั้งหมด, (k_La_L) ต่อไป

3.2.4 ค่าเศษส่วนเข้าใกล้สู่สมดุล, (E)

การวัดค่าเศษส่วนเข้าใกล้สู่สมดุล หรือ

$$E = \frac{C_L - C_{Lo}}{C^* - C_{Lo}}$$

เมื่อ C_L = ความเข้มข้นของออกซิเจนในของเหลวขณะหนึ่งเมื่อเวลาใดๆ (kg/m^3)

C_{Lo} = ความเข้มข้นของออกซิเจนในของเหลวขณะหนึ่งเมื่อเวลาเท่ากับศูนย์ (kg/m^3)

C^* = ความเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจนในของเหลว (kg/m^3)

จะมีการวัดเหมือนกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของปริมาตรทั้งหมด, (k_La_L) ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการหาค่า ดีโอ (Dissolved Oxygen) ด้วย ดั้งนั้นจึงต้องใช้เครื่องมือวัดเหมือนกับการวัดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของปริมาณทั้งหมด, (k_La_L) คือใช้เครื่องมือแบบ Membrane Electrode Method และก๊าซไนโตรเจน (N_2) ดังหัวข้อ 3.2.3.2 เศษส่วนเข้าใกล้สู่สมดุล (E)