



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ ศูนย์วิจัยและทดสอบการเติมอากาศ



โดย ผศ.ดร.อนุรักษ์ ปิตรีกษ์สกุล

และ

อาจารย์สุริยันต์ เทียมเพชร

มีนาคม 2547

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ “ศูนย์วิจัยและทดสอบการเติมอากาศ”

คณะผู้วิจัย

สังกัด

1. ผศ.ดร.อนุรักษ์ ปิตรีกษ์สกุล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

2. อาจารย์สุริยันต์ เทียมเพชร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชุดโครงการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สารบัญ

	หน้า
ปกใน	ก
บทคัดย่อ	ข
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
1. บทนำ	1
1.1 มาตรฐานการทดสอบเครื่องเติมอากาศ	1
1.2 วัตถุประสงค์ที่จำเพาะของโครงการ	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับโดยตรงเมื่อสำเร็จโครงการ	2
2. ทฤษฎี	4
2.1 หลักการวัดการถ่ายเทออกซิเจน	8
2.2 การหาค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจน	9
2.3 การถ่ายเทมวล	9
3. ขั้นตอนการดำเนินงาน	16
4. ผลการดำเนินงาน	18
4.1 การรวบรวมมาตรฐานการทดสอบและเอกสารอื่นๆ	18
4.2 การจัดตั้งศูนย์ฯ	18
4.3 การดำเนินการจัดหาครุภัณฑ์โครงการ	18
4.4 การการจัดประชุมสัมมนาเชิงปฏิบัติ	28
4.5 การจัดทำข้อกำหนด	29
4.6 การทดสอบเครื่องเติมอากาศในห้องปฏิบัติการ	29
4.7 การทดสอบเครื่องเติมอากาศในถังทดสอบ	40
4.8 การศึกษาไฮโดรไดนามิกส์ในถังทดสอบ	43
4.9 การถ่ายภาพฟองอากาศ	57
4.10 การวัดแอลฟาและเบต้าแฟคเตอร์ในห้องปฏิบัติการ	59
4.11 การจัดทำวีดิทัศน์เพื่อเผยแพร่ความรู้และการฝึกอบรม	61
5. สรุปและข้อเสนอแนะ	62
เอกสารอ้างอิง	63

ภาคผนวก ก (รายละเอียดถึงทดสอบขนาด 1.5x2x5 และ 6x6x5 เมตร)	64
ภาคผนวก ข (บทความวิชาการและเอกสารเผยแพร่)	85
ภาคผนวก ค (รายงานการจัดประชุมสัมมนา)	97

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ลักษณะของเครื่องเดิมอากาศ	5
ตารางที่ 2.2 ค่าคงที่ Henry	14
ตารางที่ 4.1 ครุภัณฑ์โครงการ	19
ตารางที่ 4.2 ค่าแอลฟาและเบต้าแฟคเตอร์ของน้ำเสียชุมชน	63
ตารางที่ 4.3 ค่าแอลฟาและเบต้าแฟคเตอร์ของน้ำเสียจากโรงอาหาร ตึกกิจกรรม สจพ.	63

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การแพร่ของก๊าซเข้าสู่กระแสน้ำอากาศ	10
รูปที่ 2.2 การถ่ายเทมวลแบบการพาของ A เข้าสู่กระแส B	10
รูปที่ 2.3 บริเวณถ่ายเทมวลสารที่ interface	13
รูปที่ 4.1 เครื่องวัดออกซิเจนละลาย	20
รูปที่ 4.2 ถังทดสอบเครื่องเดิมอากาศขนาด 1.5x2x5 เมตร	22
รูปที่ 4.3 บานกระจกที่ถังทดสอบเครื่องเดิมอากาศขนาด 1.5x2x5 เมตร ที่ระดับ 1,2 และ 3 เมตร	23
รูปที่ 4.4 บ่อทดสอบเครื่องเดิมอากาศขนาด 6x6x5 เมตร	24
รูปที่ 4.5 เคนยของ รอก และ คานรองรับเครื่องเดิมอากาศ	25
รูปที่ 4.6 เครื่องวัดความเร็วน้ำ	26
รูปที่ 4.7 การติดตามบันทึกผลกระแสน้ำด้วยเครื่องวัดความเร็วน้ำ	27
รูปที่ 4.8 การจัดประชุมสัมมนาเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 2	29
รูปที่ 4.9 แสดงค่าออกซิเจนละลาย (DO) กับเวลาที่ทดสอบโดยเทคนิคการดูดซับและเทคนิค การคายการดูดซับ	30
รูปที่ 4.10 โถแก้วที่ใช้ในการทดสอบเครื่องเดิมอากาศในห้องปฏิบัติการ	37
รูปที่ 4.11 ภาพด้านบนของโถแก้ว	37
รูปที่ 4.12 ภาพโถแก้วขณะพ่นฟองอากาศ	38
รูปที่ 4.13 ค่า $K_L a_{20}$ ในน้ำสะอาดโดยเทคนิคการดูดซับในห้องปฏิบัติการ	38

รูปที่ 4.14 SOTE ที่คำนวณได้จากการทดสอบเครื่องเติมอากาศในน้ำสะอาด ในห้องปฏิบัติการ	39
รูปที่ 4.15 SOTE ที่คำนวณได้จากการทดสอบเครื่องเติมอากาศในน้ำสะอาด ในห้องปฏิบัติการ	39
รูปที่ 4.16 การติดตั้ง diffuser จำนวน 8 หัวที่ถังทดสอบ 1.5x2x5 เมตร	40
รูปที่ 4.17 การติดตั้งหัวอ่านออกซิเจนละลายที่ถังทดสอบ 1.5x2x5 เมตร	41
รูปที่ 4.18 การติดตั้งเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อวัดค่าออกซิเจนละลายที่ถังทดสอบ 1.5x2x5 เมตร	41
รูปที่ 4.19 พื้นผิวน้ำภายในถังทดสอบที่ติดตั้ง diffuser	42
รูปที่ 4.20 การเก็บข้อมูลเหนือถังทดสอบ	42
รูปที่ 4.21 ภาพด้านบนการติดตั้งเครื่องเติมอากาศในบ่อทดสอบ(ความลึกน้ำ 3 เมตร)	43
รูปที่ 4.22 ภาพด้านข้างการติดตั้งเครื่องเติมอากาศในบ่อทดสอบ(ความลึกน้ำ 3 เมตร)	44
รูปที่ 4.23 ภาพด้านหน้าการติดตั้งเครื่องเติมอากาศในบ่อทดสอบ(ความลึกน้ำ 3 เมตร)	45
รูปที่ 4.24 เครื่องเติมอากาศในขณะทำงาน	46
รูปที่ 4.25 เคนตัวล่างที่ใช้ติดตั้งอุปกรณ์หัววัดความเร็วน้ำ	46
รูปที่ 4.26 การติดตั้ง truss กับเคนตัวล่างเพื่อใช้ติดตั้งอุปกรณ์หัววัดความเร็วน้ำ	47
รูปที่ 4.27 หัววัดความเร็วน้ำที่ติดตั้งกับ truss (ในรูปเป็นการติดตั้งหัววัดในแนวตั้ง ใช้วัดความเร็วน้ำในแกน x-y)	48
รูปที่ 4.28 ความเร็วบนแกน x-y ที่ระดับความสูงน้ำ 0.58 เมตรจากก้นบ่อ(น้ำลึก 3.0 เมตร)	49
รูปที่ 4.29 ความเร็วบนแกน x-y ที่ระดับความสูงน้ำ 1.08 เมตรจากก้นบ่อ(น้ำลึก 3.0 เมตร)	50
รูปที่ 4.30 ความเร็วบนแกน x-y ที่ระดับความสูงน้ำ 1.58 เมตรจากก้นบ่อ(น้ำลึก 3.0 เมตร)	51
รูปที่ 4.31 ความเร็วบนแกน x-y ที่ระดับความสูงน้ำ 2.08 เมตรจากก้นบ่อ(น้ำลึก 3.0 เมตร)	52
รูปที่ 4.32 ความเร็วบนแกน x-y ที่ระดับความสูงน้ำ 2.58 เมตรจากก้นบ่อ(น้ำลึก 3.0 เมตร)	53
รูปที่ 4.33 ความเร็วบนแกน x-z ที่จุดกึ่งกลางบ่อ(น้ำลึก 3.0 เมตร)	54
รูปที่ 4.34 ความเร็วบนแกน x-z ที่ห่างจากจุดกึ่งกลางบ่อ 0.5 เมตร(น้ำลึก 3.0 เมตร)	54
รูปที่ 4.35 ความเร็วบนแกน x-z ที่ห่างจากจุดกึ่งกลางบ่อ 1.0 เมตร(น้ำลึก 3.0 เมตร)	55
รูปที่ 4.36 ความเร็วบนแกน x-z ที่ห่างจากจุดกึ่งกลางบ่อ 1.5 เมตร(น้ำลึก 3.0 เมตร)	55
รูปที่ 4.37 ความเร็วบนแกน x-z ที่ห่างจากจุดกึ่งกลางบ่อ 2.0 เมตร(น้ำลึก 3.0 เมตร)	56

รูปที่ 4.38 ความเร็วบนแกน x-z ที่ห่างจากจุดกึ่งกลางบ่อ 2.5 เมตร(น้ำลึก 3.0 เมตร)	56
	หน้า
รูปที่ 4.39 ภาพถ่ายเครื่องเติมอากาศ diffuser	57
รูปที่ 4.40 ตัวอย่างฟองอากาศที่ถ่ายภาพบริเวณช่องกระจกที่ระดับความสูง 3.5 เมตร (ระดับน้ำทดสอบ 4 เมตร)	58
รูปที่ 4.41 เป็นชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวัดค่า $K_L\alpha$ ในน้ำกระบวนการ	59

สัญญาเลขที่ RDG45-3-0008
โครงการ “ศูนย์วิจัยและทดสอบการเติมอากาศ
สรุปรายงานฉบับสมบูรณ์

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ 1 พฤศจิกายน 2544 ถึงวันที่ 31 มีนาคม 2547

ชื่อหัวหน้าโครงการ : ผศ.ดร.อนุรักษ์ ปีติรักษ์สกุล

หน่วยงาน : ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. รวบรวมข้อมูลการทดสอบเครื่องเติมอากาศชนิดต่างๆ เช่น เครื่องเติมอากาศแบบผิวน้ำ (surface aerator) เครื่องเติมอากาศแบบใต้ผิวน้ำ(submerged aerator) และ เครื่องเติมอากาศแบบหัวกระจาย(air diffuser) เป็นต้น
2. ออกแบบและจัดสร้างบ่อทดสอบเครื่องเติมอากาศ ตามมาตรฐานการทดสอบโดยใช้น้ำสะอาดเป็นตัวกลาง
3. จัดหาเครื่องมือมาตรฐานในการตรวจวัดคุณภาพน้ำทดสอบ
4. จัดหาเครื่องมือมาตรฐานในการตรวจวัดค่าอัตราการถ่ายเทออกซิเจนต่อกำลังงาน
5. จัดตั้งศูนย์วิจัยและทดสอบการเติมอากาศ

รายละเอียดผลการดำเนินงานของโครงการตามแผนงาน โดยสรุป

กิจกรรม(ตามแผน)	ผลที่คาดว่าจะได้รับ(ตามแผน)	ผลการดำเนินงาน	หมายเหตุ
เดือนที่ 1-6 1. จัดหาข้อมูล	1.. มีมาตรฐานการทดสอบ เครื่องเติมอากาศ เช่น ASCE, ATV และ EN	1. มีมาตรฐานการทดสอบ ทั้ง 3 รวมทั้งเอกสารอื่นๆ	-
2. ดำเนินการจัดตั้ง ศูนย์วิจัยและทดสอบการ เติมอากาศ	2. ขออนุมัติใช้สถานที่ในการ จัดตั้งศูนย์ จากสถาบันฯ และ ร่างระเบียบเพื่อเป็นแนวทางใน การบริหาร การคิดราคาการ ทดสอบ และแนวทางวิจัยใน อนาคต	2. ได้ดำเนินการขออนุญาตจาก ภาควิชาเพื่อใช้เป็นสถานที่ตั้ง ศูนย์ฯและติดตั้งถังทดสอบขนาด 1.5 x 2 x 4 เมตร ส่วนการขอ จัดตั้งหน่วยงานใหม่อยู่ระหว่าง การดำเนินการ	-
3.จัดสัมมนาเชิง ปฏิบัติการเพื่อร่าง ระเบียบทดสอบครั้งที่ 1	3. ระดมความคิดจากภาครัฐ และเอกชน เพื่อประ โยชน์ใน การทดสอบการเติมอากาศให้ เป็นสากล	3. มีการจัดสัมมนาเชิงปฏิบัติการ เรื่องข้อกำหนดในการทดสอบ เครื่องเติมอากาศ ครั้งที่ 1 เมื่อ วันที่ 10 พฤษภาคม 2545	-
4. ออกแบบและสร้างถัง ทดสอบขนาด 1.5 x 2 x 4 เมตร	4. มีถังทดสอบขนาด 1.5 x 2 x 4 เมตร เพื่อใช้ทดสอบเครื่อง เติมอากาศในเบื้องต้น และยัง สามารถใช้เป็นถังทดสอบ เครื่องเติมอากาศแบบหัว กระจาย (diffuser)	4. ได้แก้ไขขนาดของถังทดสอบ เป็น 1.5 x 2 x 5 เมตร ในวงเงินเท่า เดิม	4. เนื่องจากมีการ แก้ไขปรับปรุง ขนาดถังให้มี ความเหมาะสม อีกทั้งในระหว่าง การดำเนินการ จัดสร้าง ประสบ ปัญหาเรื่องการ แตกของกระจก และการรั่วซึม ของน้ำ
5.จัดหาเครื่องมือ วิเคราะห์น้ำ	5. มีเครื่องมือวิเคราะห์น้ำและ วัดออกซิเจนละลาย	5. ได้ดำเนินการขออนุมัติจากต้น สังกัดและเบิกซองสอบราคา	-

6.สร้างชุดอุปกรณ์วัด ทอร์ค	6.มีเครื่องมือมาตรฐานเพื่อใช้ ในการตรวจวัดทอร์คของเครื่อง เติมอากาศชนิดผิวน้ำ หรือใต้ผิ วน้ำบางรุ่น	6. จากการศึกษามาตรฐานและ การประชุมสัมมนาเชิงปฏิบัติการ พบว่าการวัดกำลังไฟฟ้ารวมจะ ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์กว่าการ ทอร์ค	6. ไม่ได้ ดำเนินการ เนื่องจากการใช้ วิธีการวัด กำลังไฟฟ้ารวมจะ ให้ข้อมูลที่ เพียงพอ
7.เริ่มออกแบบบ่อ ทดสอบขนาด 6 x 6 x 4 เมตร	7.ได้องค์ประกอบพื้นฐานซึ่ง พร้อมจะเจรจากับผู้รับเหมา	7. ได้แก้ไขขนาดของถังทดสอบ เป็น 6 x6x5 เมตร	-

เดือนที่ 7-12

กิจกรรม(ตามแผน)	ผลที่คาดว่าจะได้รับ(ตามแผน)	ผลการดำเนินงาน	หมายเหตุ
1. จัดหาข้อมูล	1.. มีข้อมูลเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้อง กับมาตรฐานการทดสอบเครื่อง เติมอากาศ	1. รวบรวมเอกสารจากห้องสมุด และinternet เพิ่มเติม	-
2. ดำเนินการจัดตั้ง ศูนย์วิจัยและทดสอบการ เติมอากาศ	2. เหมือนกับเดือน 1-6 เนื่องจากเป็นกิจกรรมต่อเนื่อง	2. ได้ดำเนินการขอจัดตั้งศูนย์วิจัย และทดสอบการเติมอากาศ	-
3.จัดสัมมนาเชิง ปฏิบัติการครั้งที่ 2	3. ระดมความคิดจากภาครัฐ และเอกชน เพื่อประ โยชน์ใน การทดสอบการเติมอากาศให้ เป็นสากล	3. มีการจัดสัมมนาเชิงปฏิบัติการ เรื่องข้อกำหนดในการทดสอบ เครื่องเติมอากาศ ครั้งที่ 2 เมื่อ วันที่ 13-14 พฤษภาคม 2546 พร้อมทั้งให้การอบรม ผู้ประกอบการ	-
4. ออกแบบบ่อทดสอบ ระยะ 2	4. ได้แปลนโครงสร้างพร้อมทั้ง ราคารับเหมาก่อสร้าง	4. ได้แก้ไขขนาดของถังทดสอบ เป็น 6 x6x5 เมตร	-
5.จัดวางขั้นตอนและ หลักเกณฑ์ในการ ทดสอบ	5. วางแผนปฏิบัติงานในระดับ ผู้บริหารและผู้ทดสอบ	5. มีแผนการรับงานทดสอบและ กำหนดหน้าที่ผู้รับผิดชอบ	-

6.เริ่มสร้างบ่อทดสอบ ขนาด6x6x4เมตร	6.ขุดและดำเนินการก่อสร้างบ่อ	6. เริ่มดำเนินการประกวดราคา	6. เนื่องจากมีการ แก้ไขปรับปรุง ขนาดถังให้มี ความเหมาะสม
---------------------------------------	------------------------------	-----------------------------	---

เดือนที่ 13-18

กิจกรรม(ตามแผน)	ผลที่คาดว่าจะได้รับ(ตามแผน)	ผลการดำเนินงาน	หมายเหตุ
1. จัดหาข้อมูล	1.. มีข้อมูลเพิ่มเติมในเรื่องการ เดิมอากาศและเครื่องเดิมอากาศ	1. ได้รวบรวมข้อมูลเพิ่มเติมจาก ผู้ประกอบการผลิตและข้อมูลทาง internet	-
2.สร้างบ่อทดสอบขนาด 6x6x5เมตร	2.มีบ่อทดสอบและดำเนินการ ติดตั้งระบบไฟฟ้า ระบบกรอง น้ำ และอื่นๆที่จำเป็น	2. เริ่มดำเนินการก่อสร้าง	2. เนื่องจาก ดำเนินการล่าช้า มาตั้งแต่ช่วงเดือน 7-12
3. จัดหาเครื่องมือเพิ่มเติม	3. มีเครื่องมือมาตรฐานเพื่อ ศึกษาไฮโดรไดนามิก ภายใน บ่อทดสอบเดิมอากาศ	3. ดำเนินการเปลี่ยนแปลง specification ของเครื่องวัด ความเร็วน้ำจากวัดได้ 1 แกน เป็น แบบ 2 แกน	3. แก้ไข specification โดย ใช้เวลาในการ ติดต่อหาบริษัท ผู้ขาย
4. ทดสอบเครื่องเดิม อากาศในบ่อทดสอบ ขนาด6x6x5เมตร	4. เริ่มทดสอบเครื่องเดิมอากาศ ที่จัดสร้างขึ้นหรืออาจซื้อหรือ ได้รับบริจาคจากภาครัฐหรือ เอกชน	4.ทดสอบเครื่องเดิมอากาศที่ถึง ทดสอบขนาด 1.5 x 2 x 4 เมตร ส่วนบ่อทดสอบขนาด6x6x5เมตร เริ่มจัดหาอุปกรณ์และเครื่องเดิม อากาศโดยอยู่ระหว่างการติดต่อ ขอความร่วมมือกับภาคเอกชน	4.ขาดอุปกรณ์ยก เครื่องเดิมอากาศ โดยมีการ เปลี่ยนแปลงการ จัดซื้อเครนจาก mobile crane เป็น แบบติดตั้งบนบ่อ ทดสอบ
5. จัดอบรม	5. จัดอบรมให้กับเจ้าหน้าที่หรือ ผู้เกี่ยวข้องกับศูนย์วิจัยฯ ให้มี ความรู้พื้นฐานด้านการเดิม อากาศ	6. ได้ทำการอบรมผู้ช่วยวิจัยและ ได้อบรมผู้เข้าสัมมนาให้สามารถ ตรวจวัดประสิทธิภาพเครื่องเดิม อากาศ	-

เดือนที่ 19-24

กิจกรรม(ตามแผน)	ผลที่คาดว่าจะได้รับ(ตามแผน)	ผลการดำเนินงาน	หมายเหตุ
1. จัดหาข้อมูล	1.. มีข้อมูลเพิ่มเติมในเรื่องการเติมอากาศและเครื่องเติมอากาศ	1. ได้รวบรวมข้อมูลเพิ่มเติมจากผู้ประกอบการผลิตและข้อมูลทาง internet	-
2. ประชาสัมพันธ์ให้หน่วยงานภาครัฐและเอกชนรับทราบ	2. จัดทำแผ่นพับและกระจายไปสู่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งภาครัฐและเอกชน	2. มีการจัดทำแผ่นพับประชาสัมพันธ์และเผยแพร่การทำงานของศูนย์วิจัยฯ เป็นระยะ	-
3. ทดสอบเครื่องเติมอากาศ	3. ทดสอบเครื่องเติมอากาศในบ่อทดสอบขนาด6x6x5เมตร เพื่อเรียนรู้การตรวจวัดในถังขนาดใหญ่	4.ทดสอบเครื่องเติมอากาศชนิด venturi โดยขอความร่วมมือกับภาคเอกชน	-
4. ศึกษาการทดสอบทางไฮโดรไดนามิกในบ่อทดสอบขนาด6x6x5เมตร	4. มีข้อมูลการไหลของกระแสน้ำในบ่อเติมอากาศ	4. ได้ทำการศึกษาเบื้องต้นของไฮโดรไดนามิกส์ในบ่อ โดยใช้โปรแกรม CFD เพื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากเครื่องวัดความเร็วน้ำ	4. ผลของการทำ simulation ได้ผลไม่ดี ดังนั้นการเปรียบเทียบผลกับการวัดจริงอยู่ระหว่างการดำเนินการวิจัย
6. จัดอบรม	6. จัดอบรมให้กับผู้สนใจ ทั้งภาครัฐและเอกชน โดยตั้งเป้าไว้ที่ 20-30 คน	6. ได้ทำการอบรมผู้ช่วยวิจัยและผู้ประกอบการในการสัมมนาเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 2 ให้สามารถตรวจวัดประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศ	-

ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ ต่อ สกว.

ภาพรวมแล้วในปัจจุบันทางศูนย์วิจัยฯมีศักยภาพในการทดสอบประสิทธิภาพการเติมอากาศของเครื่องเติมอากาศในน้ำสะอาดและการศึกษาไฮโดรไดนามิกส์ภายในบ่อเติมอากาศที่มีการติดตั้งเครื่องเติมอากาศ ตามวัตถุประสงค์หลัก ส่วนการดำเนินงานเชิงธุรกิจนั้นคณะวิจัยฯ

พบว่ายังประสบปัญหาบ้าง เช่น ข้อปฏิบัติในการรับงานการค้าของสถาบันฯ และเวลาในการ
ศึกษาวิจัยตามข้อเสนอโครงการต้องแบ่งเวลาออกไปทำงานทดสอบ

การทดสอบในภาคสนามโดยวัดประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศในน้ำกระบวนกรและ
การศึกษาการควบคุมเครื่องเติมอากาศอย่างเป็นระบบ จะช่วยลดภาระค่าใช้จ่ายและซ่อมบำรุง
ให้กับผู้ใช้เครื่องเติมอากาศ และเป็นการลดการใช้พลังงานรวมของประเทศ จึงเป็นแนวทางในการ
วิจัยและพัฒนาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

ลงนาม _____

(หัวหน้าโครงการ)

วันที่ _____



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ ศูนย์วิจัยและทดสอบการเติมอากาศ

โดย ผศ.ดร.อนุรักษ์ ปีติรักษ์สกุล

และ

อาจารย์สุริยันต์ เทียมเพชร

มีนาคม 2547

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ “ศูนย์วิจัยและทดสอบการเติมอากาศ”

คณะผู้วิจัย

สังกัด

1. ผศ.ดร.อนุรักษ์ ปิตรีกษ์สกุล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

2. อาจารย์สุริยันต์ เทียมเพชร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชุดโครงการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สัญญาเลขที่ RDG45-3-0008

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ “ศูนย์วิจัยและทดสอบการเติมอากาศ”

คณะผู้วิจัย

สังกัด

1. ผศ.ดร.อนุรักษ์ ปิตรีกษ์สกุล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

2. อาจารย์สุริยันต์ เทียมเพชร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชุดโครงการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

รหัสโครงการ : RDG45-3-0008

ชื่อโครงการ : ศูนย์วิจัยและทดสอบการเติมอากาศ

ชื่อนักวิจัย : อนุรักษ์ ปิตรีกษ์สกุล¹, สุริยันต์ เทียมเพชร¹

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

email address : arp@kmitnb.ac.th

ระยะเวลาโครงการ : พฤศจิกายน 2544-มีนาคม 2547

วัตถุประสงค์โครงการ คือ รวบรวมข้อมูลการทดสอบเครื่องเติมอากาศชนิดต่างๆ ออกแบบและจัดสร้างบ่อทดสอบเครื่องเติมอากาศ ตามมาตรฐานการทดสอบโดยใช้น้ำสะอาดเป็นตัวกลาง จัดหาเครื่องมือมาตรฐานในการตรวจวัดคุณภาพน้ำทดสอบ จัดหาเครื่องมือมาตรฐานในการตรวจวัดค่าอัตราการถ่ายเทออกซิเจนต่อกำลังงาน และ จัดตั้งศูนย์วิจัยและทดสอบการเติมอากาศ

การดำเนินงานได้รวบรวมข้อมูลการทดสอบเครื่องเติมอากาศจากมาตรฐานต่างๆ ได้แก่ มาตรฐาน ASCE, ATV และ EN เป็นต้น ออกแบบและจัดสร้างบ่อทดสอบเครื่องเติมอากาศขนาด $1.5 \times 2 \times 5$ เมตร และ $6 \times 6 \times 5$ เมตร พร้อมทั้งจัดหาเครื่องมือมาตรฐานในการวิเคราะห์น้ำ การละลายของออกซิเจนในน้ำ และการวัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องเติมอากาศ รวมทั้งเรียนเชิญกรมควบคุมมลพิษ ร่วมจัดการประชุมสัมมนาเชิงปฏิบัติการ โดยความร่วมมือของภาครัฐ (กรมชลประทาน) และภาคเอกชน (ผู้ผลิตและผู้ใช้เครื่องเติมอากาศ) จัดทำข้อกำหนดในการทดสอบเครื่องเติมอากาศขึ้น นอกจากนี้ยังมีการศึกษาคุณลักษณะของน้ำเสียรวมทั้งแอลฟาและเบต้าแฟกเตอร์ สุดท้ายได้ทำการทดลองวัดความเร็วน้ำภายในบ่อเพื่อใช้ศึกษาไฮโดรไดนามิกส์ของการเติมอากาศโดยใช้เครื่องเติมอากาศแบบเวนทูรีเป็นกรณีศึกษา

ในปัจจุบันศูนย์วิจัยฯ มีความสามารถทดสอบประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศ ขนาดไม่เกิน 20 แรงม้า ในน้ำสะอาด ตามข้อกำหนดที่ได้ทำการรวบรวมขึ้นมามากทั้งอุปกรณ์ที่มีอยู่สามารถนำไปทดสอบประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศตามมาตรฐานสากลได้เช่นกัน ซึ่งจากงานวิจัยนี้สามารถตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศได้ตามหลักวิชาการ ทำให้ผู้ผลิตสามารถนำวิธีการตรวจวัดไปใช้ปรับปรุงเครื่องเติมอากาศ และผู้ใช้มีความมั่นใจในการซื้อสินค้า รวมทั้งวิศวกรออกแบบสามารถกำหนดขนาดเครื่องเติมอากาศให้มีความแม่นยำมากขึ้น วิจัยที่น่าจะทำการศึกษาต่อไปคือการทดสอบเครื่องเติมอากาศโดยใช้น้ำกระวนการ การศึกษาการกวนผสมภายในบ่อเติมอากาศ และการทดลองหาค่าแอลฟาและเบต้าแฟกเตอร์ของน้ำเสียชนิดต่างๆ

คำหลัก : เครื่องเติมอากาศ มาตรฐานการทดสอบ อัตราการถ่ายเทออกซิเจน ประสิทธิภาพการเติม
อากาศ ประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจน

Project Code : RDG45-3-0008

Project Title : The center of aeration research and testing

Investigators : Petiraksakul A.¹, Suriyan TiamPet¹

¹ Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology North-Bangkok

email address : arp@kmitnb.ac.th

Project Duration : November 2001-March 2004

The objectives of this research are to search and summarize the information of aeration testing systems, to design and set up the testing containers, to prepare the testing equipment for measuring water quality and aerator performance and, finally, to establish the center of aeration research and testing (KMITNB).

Three testing standards, namely, ASCE, German ATV and EN standard were collected. Two testing containers were designed and built from steel and reinforced concrete, respectively. The small testing tank (1.5x2x5m) located in KMITNB, Bangkok was used to test the performance of diffused aerators and small mechanical aerators (less than 5 Hps) while the other tank (6x6x5m) located in KMITNB, Prajinburi was prepared for testing performance of bigger aerators (less than 20 Hps) and a study of hydrodynamics in aeration tanks. Three DO-meters, power meter, current meter, etc., were also prepared.

To collaborate with the Pollution Control Department, Industrial Ministry, two workshop seminars were arranged. The first protocol named "the protocol of oxygen transfer measurement in clean water, KMITNB" was printed in September 2003 after the conclusion of the second workshop seminar. Furthermore, the testing procedure, organization chart and charge of aeration performance have been set. Finally, wastewater characteristics including alpha and beta factors were studied and, the hydrodynamics of venturi aerator was also investigated.

At present, the center can give services in testing of aerator performance in clean water, training people who work in wastewater treatment systems and relating area, and measuring water velocities in an aeration tank. These activities could gain confidence to manufacturers who design and improve their products, wastewater treatment consultants and customers who use the aerators in their processes. For the future works, the testing of aerator performance in process water, and mixing inside the aeration tank might be studied, and the determination of alpha and beta factors should be investigated for various wastewater sources.

Keywords : Aerator, Standard of testing, Oxygen transfer rate(OTR), Aeration efficiency(AE), Oxygen transfer efficiency(OTE)

สารบัญ

	หน้า
ปกใน	ก
บทคัดย่อ	ข
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญรูป	ฅ
1. บทนำ	1
1.1 มาตรฐานการทดสอบเครื่องเติมอากาศ	1
1.2 วัตถุประสงค์ที่จำเพาะของโครงการ	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับโดยตรงเมื่อสำเร็จโครงการ	2
2. ทฤษฎี	4
2.1 หลักการวัดการถ่ายเทออกซิเจน	8
2.2 การหาค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจน	9
2.3 การถ่ายเทมวล	9
3. ขั้นตอนการดำเนินงาน	16
4. ผลการดำเนินงาน	18
4.1 การรวบรวมมาตรฐานการทดสอบและเอกสารอื่นๆ	18
4.2 การจัดตั้งศูนย์ฯ	18
4.3 การดำเนินการจัดหาครุภัณฑ์โครงการ	18
4.4 การการจัดประชุมสัมมนาเชิงปฏิบัติ	28
4.5 การจัดทำข้อกำหนด	29
4.6 การทดสอบเครื่องเติมอากาศในห้องปฏิบัติการ	29
4.7 การทดสอบเครื่องเติมอากาศในถังทดสอบ	40
4.8 การศึกษาไฮโดรไดนามิกส์ในถังทดสอบ	43
4.9 การถ่ายภาพฟองอากาศ	57
4.10 การวัดแอลฟาและเบต้าแฟคเตอร์ในห้องปฏิบัติการ	59
4.11 การจัดทำวีดิทัศน์เพื่อเผยแพร่ความรู้และการฝึกอบรม	61
5. สรุปและข้อเสนอแนะ	62
เอกสารอ้างอิง	63

ภาคผนวก ก (รายละเอียดถึงทดสอบขนาด 1.5x2x5 และ 6x6x5 เมตร)	64
ภาคผนวก ข (บทความวิชาการและเอกสารเผยแพร่)	85
ภาคผนวก ค (รายงานการจัดประชุมสัมมนา)	97

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ลักษณะของเครื่องเดิมอากาศ	5
ตารางที่ 2.2 ค่าคงที่ Henry	14
ตารางที่ 4.1 ครุภัณฑ์โครงการ	19
ตารางที่ 4.2 ค่าแอลฟาและเบต้าแฟคเตอร์ของน้ำเสียชุมชน	63
ตารางที่ 4.3 ค่าแอลฟาและเบต้าแฟคเตอร์ของน้ำเสียจากโรงอาหาร ตึกกิจกรรม สจพ.	63

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การแพร่ของก๊าซเข้าสู่กระแสดอากาศ	10
รูปที่ 2.2 การถ่ายเทมวลแบบการพาของ A เข้าสู่กระแสด B	10
รูปที่ 2.3 บริเวณถ่ายเทมวลสารที่ interface	13
รูปที่ 4.1 เครื่องวัดออกซิเจนละลาย	20
รูปที่ 4.2 ถังทดสอบเครื่องเดิมอากาศขนาด 1.5x2x5 เมตร	22
รูปที่ 4.3 บานกระจกที่ถังทดสอบเครื่องเดิมอากาศขนาด 1.5x2x5 เมตร ที่ระดับ 1,2 และ 3 เมตร	23
รูปที่ 4.4 บ่อทดสอบเครื่องเดิมอากาศขนาด 6x6x5 เมตร	24
รูปที่ 4.5 เคนยกของ รอก และ คานรองรับเครื่องเดิมอากาศ	25
รูปที่ 4.6 เครื่องวัดความเร็วน้ำ	26
รูปที่ 4.7 การติดตามบันทึกผลกระแสน้ำด้วยเครื่องวัดความเร็วน้ำ	27
รูปที่ 4.8 การจัดประชุมสัมมนาเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 2	29
รูปที่ 4.9 แสดงค่าออกซิเจนละลาย (DO) กับเวลาที่ทดลอง โดยเทคนิคการดูดซับและเทคนิค การคายการดูดซับ	30
รูปที่ 4.10 โดแก้วที่ใช้ในการทดสอบเครื่องเดิมอากาศในห้องปฏิบัติการ	37
รูปที่ 4.11 ภาพด้านบนของโดแก้ว	37
รูปที่ 4.12 ภาพโดแก้วขณะพ่นฟองอากาศ	38
รูปที่ 4.13 ค่า K_{La_0} ในน้ำสะอาดโดยเทคนิคการคายการดูดซับในห้องปฏิบัติการ	38

รูปที่ 4.14 SOTE ที่คำนวณได้จากการทดสอบเครื่องเติมอากาศในน้ำสะอาด ในห้องปฏิบัติการ	39
รูปที่ 4.15 SOTE ที่คำนวณได้จากการทดสอบเครื่องเติมอากาศในน้ำสะอาด ในห้องปฏิบัติการ	39
รูปที่ 4.16 การติดตั้ง diffuser จำนวน 8 หัวที่ถังทดสอบ 1.5x2x5 เมตร	40
รูปที่ 4.17 การติดตั้งหัวอ่านออกซิเจนละลายที่ถังทดสอบ 1.5x2x5 เมตร	41
รูปที่ 4.18 การติดตั้งเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อวัดค่าออกซิเจนละลายที่ถังทดสอบ 1.5x2x5 เมตร	41
รูปที่ 4.19 พื้นผิวน้ำภายในถังทดสอบที่ติดตั้ง diffuser	42
รูปที่ 4.20 การเก็บข้อมูลเหนือถังทดสอบ	42
รูปที่ 4.21 ภาพด้านบนการติดตั้งเครื่องเติมอากาศในบ่อทดสอบ(ความลึกน้ำ 3 เมตร)	43
รูปที่ 4.22 ภาพด้านข้างการติดตั้งเครื่องเติมอากาศในบ่อทดสอบ(ความลึกน้ำ 3 เมตร)	44
รูปที่ 4.23 ภาพด้านหน้าการติดตั้งเครื่องเติมอากาศในบ่อทดสอบ(ความลึกน้ำ 3 เมตร)	45
รูปที่ 4.24 เครื่องเติมอากาศในขณะทำงาน	46
รูปที่ 4.25 เคนตัวล่างที่ใช้ติดตั้งอุปกรณ์หัววัดความเร็วน้ำ	46
รูปที่ 4.26 การติดตั้ง truss กับเคนตัวล่างเพื่อใช้ติดตั้งอุปกรณ์หัววัดความเร็วน้ำ	47
รูปที่ 4.27 หัววัดความเร็วน้ำที่ติดตั้งกับ truss (ในรูปเป็นการติดตั้งหัววัดในแนวตั้ง ใช้วัดความเร็วน้ำในแกน x-y)	48
รูปที่ 4.28 ความเร็วบนแกน x-y ที่ระดับความสูงน้ำ 0.58 เมตรจากก้นบ่อ(น้ำลึก 3.0 เมตร)	49
รูปที่ 4.29 ความเร็วบนแกน x-y ที่ระดับความสูงน้ำ 1.08 เมตรจากก้นบ่อ(น้ำลึก 3.0 เมตร)	50
รูปที่ 4.30 ความเร็วบนแกน x-y ที่ระดับความสูงน้ำ 1.58 เมตรจากก้นบ่อ(น้ำลึก 3.0 เมตร)	51
รูปที่ 4.31 ความเร็วบนแกน x-y ที่ระดับความสูงน้ำ 2.08 เมตรจากก้นบ่อ(น้ำลึก 3.0 เมตร)	52
รูปที่ 4.32 ความเร็วบนแกน x-y ที่ระดับความสูงน้ำ 2.58 เมตรจากก้นบ่อ(น้ำลึก 3.0 เมตร)	53
รูปที่ 4.33 ความเร็วบนแกน x-z ที่จุดกึ่งกลางบ่อ(น้ำลึก 3.0 เมตร)	54
รูปที่ 4.34 ความเร็วบนแกน x-z ที่ห่างจากจุดกึ่งกลางบ่อ 0.5 เมตร(น้ำลึก 3.0 เมตร)	54
รูปที่ 4.35 ความเร็วบนแกน x-z ที่ห่างจากจุดกึ่งกลางบ่อ 1.0 เมตร(น้ำลึก 3.0 เมตร)	55
รูปที่ 4.36 ความเร็วบนแกน x-z ที่ห่างจากจุดกึ่งกลางบ่อ 1.5 เมตร(น้ำลึก 3.0 เมตร)	55
รูปที่ 4.37 ความเร็วบนแกน x-z ที่ห่างจากจุดกึ่งกลางบ่อ 2.0 เมตร(น้ำลึก 3.0 เมตร)	56

รูปที่ 4.38 ความเร็วบนแกน x-z ที่ห่างจากจุดกึ่งกลางบ่อ 2.5 เมตร(น้ำลึก 3.0 เมตร)	56
	หน้า
รูปที่ 4.39 ภาพถ่ายเครื่องเติมอากาศ diffuser	57
รูปที่ 4.40 ตัวอย่างฟองอากาศที่ถ่ายภาพบริเวณช่องกระจกที่ระดับความสูง 3.5 เมตร (ระดับน้ำทดสอบ 4 เมตร)	58
รูปที่ 4.41 เป็นชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวัดค่า $K_L a$ ในน้ำกระบวนการ	59

บทที่ 1

บทนำ

น้ำเป็นสิ่งสำคัญในการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิต การบำบัดน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือน รวมทั้งโรงงานอุตสาหกรรมก่อนระบายสู่แหล่งน้ำสาธารณะจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องกระทำเพื่อรักษาแหล่งน้ำตามธรรมชาติให้สามารถใช้ประโยชน์ได้สูงสุด การเติมอากาศเป็นกระบวนการสำคัญกระบวนการหนึ่งในการบำบัดน้ำเสียแบบแอโรบิก ซึ่งอาศัยจุลินทรีย์ชนิดใช้อากาศในการย่อยสลายมลสารในน้ำ[1] อุปกรณ์ที่ใช้ในการเติมอากาศในปัจจุบันมีหลายประเภท เช่น เครื่องกวนกลผิวน้ำ การพ่นฟองอากาศผ่านหัวแพร่กระจาย[2] เครื่องเติมอากาศแบบเจ็ท[3] และ เครื่องเติมอากาศแบบวอเตอร์เจ็ท[4] เป็นต้น

ในการใช้งานจริงปัจจัยที่ทำให้เกิดการประหยัพลังงานสูงสุด คือ เครื่องเติมอากาศที่มีอัตราการถ่ายเทออกซิเจนสูงและการเคลื่อนที่ของกระแสน้ำเพื่อให้การเติมอากาศเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอในบ่อเติมอากาศ ดังนั้นในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องเติมอากาศ (เช่น ค่าการถ่ายเทออกซิเจนต่อกำลังงาน ค่าทอร์คของอุปกรณ์) การศึกษาโปรไฟล์ความเร็ว และการศึกษาการกระจายตัวของฟองอากาศในบ่อพารามิเตอร์เหล่านี้เป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องศึกษาควบคู่กับการตรวจวัดประสิทธิภาพของการถ่ายเทออกซิเจน

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องเติมอากาศในประเทศไทยมีหน่วยงานที่รองรับในวงจำกัด ทำให้การพัฒนาเครื่องเติมอากาศประสบอุปสรรคในการตรวจสอบสมรรถนะของเครื่องที่ได้จัดสร้างขึ้น ซึ่งจากประสบการณ์ของคณะวิจัยพบว่า การทดสอบเครื่องเติมอากาศที่ออกแบบและสร้างขึ้นใหม่มักจะถูกทดสอบในถังน้ำขนาดใหญ่ หรือทดสอบโดยการใช้งานจริง (ในบ่อขนาดใหญ่ที่ทำการติดตั้งเครื่องเติมอากาศหลายตัว) ทำให้การวัดประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศ ประสบปัญหาทางด้านราคาและวิธีการประเมินประสิทธิภาพของการทดสอบ ดังนั้นการจัดตั้งศูนย์ทดสอบสมรรถนะของเครื่องเติมอากาศตามหลักวิชาการ จึงเป็นประโยชน์อย่างมากในการตรวจสอบสมรรถนะของเครื่องเติมอากาศที่มีขายอยู่ในท้องตลาดหรือเครื่องเติมอากาศที่จัดสร้างขึ้นใหม่ โดยการทดสอบที่ได้มาตรฐานจะช่วยส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาเครื่องเติมอากาศให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานสูงสุด

1.1 มาตรฐานการทดสอบเครื่องเติมอากาศ

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องเติมอากาศที่นิยมทำกันมี 2 วิธีหลัก คือการทดสอบโดยใช้น้ำสะอาดและการทดสอบภาคสนามหรือการทดสอบโดยใช้น้ำในกระบวนการ การทดสอบโดยวิธีการใช้น้ำสะอาดเป็นวิธีมาตรฐานที่นิยมทดสอบเนื่องจากสามารถตรวจสอบค่าอัตราการถ่ายเทออกซิเจนต่อกำลังไฟฟ้าได้สะดวก อีกทั้งการทดสอบยังสามารถควบคุมคุณภาพน้ำทดสอบทำให้ไม่ขึ้นกับปัจจัยทางสถานะแวดล้อม เช่น ปริมาณการละลายของออกซิเจนอิ่มตัวในน้ำ ชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ในน้ำ

ทดสอบ เป็นต้น ดังนั้นในช่วงต้นของการจัดตั้งเป็นศูนย์ทดสอบการเติมอากาศจะทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องเติมอากาศโดยใช้น้ำสะอาด ส่วนการทดสอบในน้ำกระบวนกรอยู่ระหว่างการดำเนินงาน

การทดสอบการถ่ายเทออกซิเจนในน้ำสะอาดมีมาตรฐานอยู่หลายมาตรฐานทั้งในสหรัฐอเมริกา และในยุโรป อย่างไรก็ตามมีเพียง 2 มาตรฐานที่ได้รับความนิยมในการนำไปทดสอบ คือ มาตรฐานการวัดการถ่ายเทออกซิเจนในน้ำสะอาดของ ASCE [5] และมาตรฐาน ATV ของสหพันธ์รัฐเยอรมันนี [6] และอีกหนึ่งร่างมาตรฐาน คือ prEN 12255-15 [7] ซึ่งทั้งหมดใช้หลักการในการวัดการถ่ายเทออกซิเจนในน้ำสะอาดเหมือนกัน(ยกเว้นมาตรฐาน ATV มีการทดสอบในน้ำกระบวนกรด้วย)แต่ในรายละเอียดบางรายการมีข้อปลีกย่อยที่แตกต่างกัน เช่น การกำหนดสภาวะมาตรฐานของอากาศเข้าเครื่องเติมอากาศที่สภาวะแตกต่างกัน เป็นต้น

1.2.วัตถุประสงค์ที่จำเพาะของโครงการ

1.2.1 รวบรวมข้อมูลการทดสอบเครื่องเติมอากาศชนิดต่างๆ เช่น เครื่องเติมอากาศแบบผิวน้ำ (surface aerator) เครื่องเติมอากาศแบบใต้ผิวน้ำ(submerged aerator) และ เครื่องเติมอากาศแบบแพร่กระจาย(air diffuser) เป็นต้น

1.2.2 ออกแบบและจัดสร้างบ่อทดสอบเครื่องเติมอากาศ ตามมาตรฐานการทดสอบโดยใช้น้ำสะอาดเป็นตัวกลาง

1.2.3 จัดหาเครื่องมือมาตรฐานในการตรวจวัดคุณภาพน้ำทดสอบ

1.2.4 จัดหาเครื่องมือมาตรฐานในการตรวจวัดค่าอัตราการถ่ายเทออกซิเจนต่อกำลังงาน

1.2.5 จัดตั้งศูนย์วิจัยและทดสอบการเติมอากาศ

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับโดยตรงเมื่อสำเร็จโครงการ

1.3.1 มีข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศ ประกอบด้วยการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศในน้ำสะอาด การหาลำดับงานของเครื่องเติมอากาศ การหาความดันตกคร่อมอุปกรณ์ เป็นต้น โดยบ่อทดสอบขนาด $6 \times 6 \times 5$ เมตร นี้สามารถทดสอบเครื่องเติมอากาศได้ไม่เกิน 20 แรงม้า (ขึ้นกับอัตราการถ่ายเทออกซิเจนของเครื่องเติมอากาศแต่ละชนิด)

1.3.2 จัดตั้งศูนย์วิจัยและทดสอบเครื่องเติมอากาศซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการฝึกอบรมและพัฒนาเครื่องเติมอากาศให้มีประสิทธิภาพ

1.3.3 มีห้องปฏิบัติการและเครื่องมือตรวจวัดที่มีมาตรฐาน เพื่อใช้ในการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องเติมอากาศ การศึกษาโปรไฟล์ความเร็วและความเข้มข้นของออกซิเจนละลาย

1.3.4 มีข้อมูลและอุปกรณ์ในการทดสอบเครื่องเติมอากาศซึ่งพร้อมจะพัฒนาไปเป็นการทดสอบภาคสนาม

1.3.5 การทดสอบเครื่องเติมอากาศทั้งในศูนย์วิจัยและทดสอบการเติมอากาศภาคสนาม ย่อมก่อให้เกิดการเรียนรู้และความเข้าใจการเติมอากาศ ดังนั้นผลที่ได้้นอกจากจะเป็นพารามิเตอร์ในการระบุประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศโดยตรงแล้วย่อมสามารถพัฒนาแนวทางในการทำงานที่เกี่ยวข้องกับการเติมอากาศ เช่น จำนวนและชนิดของเครื่องเติมอากาศและจัดตั้งโปรแกรมการทำงานของเครื่องเติมอากาศ ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในระบบบำบัดน้ำเสียโดยรวม

1.3.6 เครื่องเติมอากาศที่ใช้ในวงการอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะติดตั้งอยู่ในระบบบำบัดน้ำเสียซึ่งเป็นภาระผูกพันที่ผู้ประกอบการต้องเป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเพื่อสิ่งแวดล้อมที่ดี การลดต้นทุนของผู้ประกอบการสามารถทำได้หลายประการ เช่น การเลือกเครื่องเติมอากาศให้มีประสิทธิภาพสูง การวางโปรแกรมการทำงานของเครื่องเติมอากาศ และการลดปริมาณน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำ ในหัวข้อหลังเป็นการจัดการทรัพยากรน้ำและพลังงานซึ่งเป็นอีกหัวข้อที่คณะวิจัยกำลังสนใจศึกษา ดังนั้นผลที่จะเกิดขึ้นในทางปฏิบัติเพื่อลดต้นทุนในภาคอุตสาหกรรมควรมีการวางแผนแนวทางในการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำและการบำบัดน้ำเสียจึงมีปฏิสัมพันธ์กัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขั้นตอนการออกแบบควรมีการวางแผนแนวทางในการใช้น้ำและควบคุมคุณภาพและปริมาณน้ำก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย

1.3.7 ในเบื้องต้นของการจัดตั้งศูนย์วิจัยและทดสอบการเติมอากาศ ถึงแม้วัตถุประสงค์ในขั้นแรกมุ่งเน้นการทดสอบเครื่องเติมอากาศในระบบบำบัดน้ำเสีย แต่ความรู้ที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการเติมอากาศในกระบวนการผลิตโดยตรง เช่น การเติมอากาศในถังหมัก และการเติมออกซิเจนในการเลี้ยงสัตว์น้ำ เป็นต้น

บทที่ 2

ทฤษฎี

เครื่องเติมอากาศสามารถจำแนกได้หลายวิธี อย่างไรก็ตามการจำแนกตามการใช้งานได้รับความนิยม คือแบ่งออกเป็นเครื่องเติมอากาศที่ผิวน้ำ (surface aerator) และเครื่องเติมอากาศใต้ผิวน้ำ (subsurface aerator)

การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศจึงขึ้นกับรูปแบบของเครื่องเติมอากาศ อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปแล้ว จะแสดงในเทอมของประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจน (oxygen transfer efficiency, OTE) มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ หรืออัตราการถ่ายเทออกซิเจน (oxygen transfer rate, OTR) มีหน่วยเป็นมวลของออกซิเจน/เวลา หรือประสิทธิภาพการเติมอากาศ (aeration efficiency, AE) มีหน่วยเป็นมวลของออกซิเจนต่อเวลาต่อกำลังงาน และการทดสอบสามารถทำได้ทั้งในน้ำสะอาดและน้ำกระบวนการ (process water) ตารางที่ 2.1 แสดงลักษณะโดยทั่วไปของเครื่องเติมอากาศที่มีขายอยู่ในปัจจุบัน จากข้อมูลของ U.S.EPA พบว่าเครื่องเติมอากาศแบบ diffuser ชนิดฟองละเอียด (2-5 mm.) ได้รับความนิยมสูงสุด รองมาคือ semi-fine pore equipment (6-10 mm.) และที่เหลือนคือ coarse bubble (>10 mm.) และเครื่องเติมอากาศเชิงกล

ปัจจัยซึ่งส่งผลต่อการเติมอากาศที่สำคัญอีกหนึ่งปัจจัยคือ การกวนผสม (mixing) พลังงานที่ใช้ในการกวนผสม ควรมีค่ามากพอในการกระจายหยดของเหลวหรือฟองอากาศ ทำให้ออกซิเจนที่ละลายในน้ำเคลื่อนที่ทั่วถึงและรักษาให้จุลินทรีย์สามารถแขวนลอยในถังเติมอากาศในระบบตะกอนเร่ง

กำลังงานที่ใช้ในการป้อนออกซิเจนจะขึ้นกับสารตั้งต้น ความเข้มข้นของชีวมวล อัตราการไหล และ ปริมาตรถัง ส่วนกำลังงานที่ใช้ในการผสมขึ้นกับปริมาตรถังเติมอากาศและความเข้มข้นตะกอน (mixed liquor suspended solid, MLSS) จากปัจจัยดังกล่าวพบว่าพลังงานในการกวนผสมอาจมีค่าสูงกว่าพลังงานที่ใช้ในการถ่ายเทออกซิเจน ในระบบที่มี MLSS ความเข้มข้นสูง ๆ ความต้องการออกซิเจนจะเป็นพารามิเตอร์ควบคุมความต้องการพลังงาน ในระบบการไหลแบบท่อ เช่น aerated lagoon ความต้องการกำลังงานของระบบคือการกวนผสม

ตารางที่ 2.1 ลักษณะของเครื่องเดิมอากาศ

ชนิดอุปกรณ์	ลักษณะอุปกรณ์	ระบบที่ใช้	ข้อดี	ข้อเสีย	ประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบในน้ำสะอาด	
					SOTE%	SAE kg/kw-h
หัวพ่นฝอยชนิดรูพรุน (porous)	เซรามิกส์, พลาสติก, เยื่อแผ่น, โดม, แผ่นกลม, ท่อ, แผ่นเรียบแบบพองละเอียด	อัตราการจ่ายเทออกซิเจนสูง ใช้ในระบบตะกอนเร่งแบบ Conventional, Extended Contact Stabilization	ประสิทธิภาพสูงมีความคล่องตัว	มีโอกาสอุดตันได้ทั้ง 2 ฝั่งของหัวพ่นฝอย ค่า α ต่ำ, ราคาแพง	13 - 45	1.9 - 6.6
หัวพ่นฝอยชนิดไม่มีรูพรุน (non porous)	ออริฟิส, ท่อเจาะรู, หัวพ่น (sprayer), วาล์ว, ฟองที่ได้ขนาดใหญ่	เหมือนกับชนิดรูพรุน	ไม่มีการอุดตันง่ายต่อการบำรุงรักษา และมีค่า α สูง	มีประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนต่ำ, ราคาแพง	9 - 13	1.3 - 1.9
เจท	เครื่องอัดอากาศและปั๊มของเหลวผสมกันผ่านหัวฉีดทำให้ได้ฟองละเอียด	เหมือนกับหัวพ่นฝอยชนิดรูพรุน	มีการผสมที่ดี, มีค่า SOTE สูง	มีรูปร่างจำกัด มีโอกาสอุดตันที่หัวฉีด, ต้องใช้ทั้ง blower และ pump ค่า SAE ต่ำ	15 - 24	2.2 - 3.5

ตารางที่ 2.1 ลักษณะของเครื่องเติมอากาศ (ต่อ)

ชนิดอุปกรณ์	ลักษณะอุปกรณ์	ระบบที่ใช้	ข้อดี	ข้อเสีย	ประสิทธิภาพของเครื่อง ทดสอบในน้ำสะอาด	
					SOTE%	SAE kg/kw-h
U - tube	มีเพลยาว 30 – 300 ฟุต, และต้องเป่าอากาศที่ความลึก	ระบบตะกอนเร่งจำเพาะ	ประสิทธิภาพสูง	มีข้อจำกัดด้านรูปร่างของระบบ	NA	NA
เครื่องกลเติมอากาศชนิดความเร็วต่ำ (20 – 100 rpm) ไหลตามแนวรัศมี (radial flow)	ใช้ความเร็วรอบต่ำ, มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ติดตั้งบนท่อนลอยน้ำหรือสร้างติดบน platform ใช้เพื่อทรงรอบ	เหมือนกับหัวพ่นฝอย	ดึงสามารถออกแบบได้หลายรูปร่าง ค่า pumping capacity สูง	เป็นหยด, ราคาเครื่องจักรสูงและต้องมีการบำรุงรักษาที่เพียงพอ	-	1.5 – 2.1
เครื่องกวนชนิดไหลตามแกน (axial flow) ความเร็วรอบสูง (900 – 1800 rpm)	ความเร็วรอบสูงมีเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำโดยตรงจากมอเตอร์ มักติดตั้งบนท่อนลอย	ใช้ใน aerated lagoon และระบบให้อากาศ	ค่าใช้จ่ายต่ำ ทำงานสะดวก	การ mixing อาจไม่เพียงพอ	-	1.1 – 1.4

ตารางที่ 1 ลักษณะของเครื่องเติมอากาศ (ต่อ)

ชนิดอุปกรณ์	ลักษณะอุปกรณ์	ระบบที่ใช้	ข้อดี	ข้อเสีย	ประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบในน้ำสะอาด	
					SOTE%	SAE kg/kw-h
เครื่องปั่นน้ำแนวอน (horizontal rotor)	ทำงานที่ความเร็วรอบต่ำ โดยใช้เกียร์ทดรอบ	ใช้ใน Oxidation ditch, ใน aerated lagoon	ค่าลงทุนปานกลาง, บำรุงรักษาง่าย	มีข้อจำกัดด้านรูปร่างของบ่อเติมอากาศ, ประสิทธิภาพปานกลาง, การ mixing แนวลึกไม่ดี	-	1.5 – 2.1
เทอร์ไบน์ใต้น้ำ (submerged turbine)	ประกอบด้วยใบกวนเทอร์ไบน์ความเร็วรอบต่ำและระบบเป่าอากาศ การใช้งานอาจติดตั้ง draft tube เป็นอุปกรณ์ประกอบ	เหมือนกับเครื่องฟั่นผอยและ oxidation ditch	การผสมดี, ใช้กับถังที่มีความลึก, การทำงานมีความคล่องตัว	ต้องใช้อากาศเป่าและติดตั้งเทอร์ไบน์ใต้น้ำทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน	-	1.1 – 2.1 (โดยทั่วไป) 2.0 – 3.0 (Draft tube turbine)
Aspirating	เหมือนกับเครื่องกวนชนิดไหลตามแกนความเร็วรอบสูง	Aerated lagoon	ค่าใช้จ่ายต่ำ, มีความคล่องตัวในการทำงาน	เหมือนกับเครื่องกวนชนิดไหลตามแกนความเร็วรอบสูง	-	0.5 – 0.8

2.1 หลักการวัดการถ่ายเทออกซิเจน

วิธีการสำคัญ คือ การกำจัดออกซิเจนที่ละลายในน้ำโดยใช้สารเคมี ได้แก่ โซเดียมซัลไฟท์ จากนั้นเริ่มให้อากาศจนออกซิเจนละลายกลับลงไปใต้น้ำจนถึงจุดอิ่มตัว เมื่อทำการเก็บข้อมูลของการละลายออกซิเจนในน้ำที่เวลาต่าง ๆ แล้ว สามารถนำกลับมาคำนวณหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลตามสมการ

$$C = C_{\infty}^* - (C_{\infty}^* - C_0) \exp(-K_L a t) \quad (2.1)$$

โดย

- C : ความเข้มข้นของออกซิเจนละลาย (มิลลิกรัม/ลิตร)
 C_{∞}^* : ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายที่สภาวะคงตัว (มิลลิกรัม/ลิตร)
 C_0 : ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายที่เวลาเริ่มต้น (มิลลิกรัม/ลิตร)
 $K_L a$: สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลเชิงปริมาตร (ชม⁻¹)
 t : เวลา (ชม.)

อย่างไรก็ตามเนื่องจากการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลเกิดจากการทดลองที่อุณหภูมิ (T) ต่างๆ ดังนั้น เพื่อให้ค่าที่รายงานเป็นค่ามาตรฐาน สามารถปรับค่าตามสมการ (2.2)

$$K_{L a 20} = K_L a \theta^{(20-T)} \quad (2.2)$$

โดย θ คือ แฟกเตอร์ปรับค่าอุณหภูมิ มีค่าเท่ากับ 1.024 [5]

ค่าเฉลี่ยของอัตราการถ่ายเทออกซิเจนมาตรฐาน (standard oxygen transfer rate, SOTR) สามารถคำนวณจากจุดเก็บตัวอย่าง n จุด ตามสมการ (2.3)

$$SOTR = V \frac{\sum_{i=1}^n K_{L a 20i} C_{\infty 20i}^*}{n} \quad (2.3)$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^n SOTR_i}{n} \quad (2.4)$$

โดย $SOTR_i = K_{L a 20i} C_{\infty 20i}^* V \quad (2.5)$

$$C_{\infty 20i}^* = C_{\infty}^* \left(\frac{1}{\tau \Omega} \right) \quad (2.6)$$

และ

τ : แฟกเตอร์ปรับค่าอุณหภูมิ = C_{st}^* / C_{s20}^*

- Ω : แฟกเตอร์ปรับค่าความดัน $= P_b/P_s$
- C_{st}^* : ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายที่ผิวน้ำที่อุณหภูมิทดสอบ ความดัน 1 บรรยากาศ 100% ความชื้น
- C_{s20}^* : ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายที่ผิวน้ำที่อุณหภูมิ 20°C ความดัน 1 บรรยากาศ 100 % ความชื้น
- P_b : ความดันสมบูรณ์ของสถานที่ทดสอบ
- P_s : ความดันสมบูรณ์มาตรฐาน 1 บรรยากาศ
- V : ปริมาตรน้ำทดสอบ

2.2 การหาประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจน

การหาประสิทธิภาพการเติมอากาศมาตรฐาน (standard aeration efficiency, SAE) หาค่าตามสมการ

$$SAE = \text{SOTR/Power Input} \quad (2.7)$$

และประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจน (oxygen transfer efficiency, OTE)

$$\text{SOTE} = \text{SOTR}/W_{O_2} \quad (2.8)$$

โดย W_{O_2} = อัตราการไหลเชิงมวลของออกซิเจน ($W_{O_2} = 0.2765 Q_s$)

Q_s = อัตราการไหลเชิงปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน

2.3 การถ่ายเทมวล

เนื่องจากฟลักซ์การถ่ายเทมวลแปรผันตามเกรเดียนต์ความเข้มข้น (concentration gradient) เทอมสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล สามารถแสดงได้ในรูปแบบคล้ายคลึงกับการถ่ายเทความร้อน โดยถ้าพิจารณาการแพร่ที่สภาวะคงตัวของก๊าซ A ผ่านเยื่อแผ่นโดยก๊าซที่มีความเข้มข้น $C_{A\infty}$ ตามรูปที่ 2.1 และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของสาร A ที่เข้าสู่กระแสก๊าซ นิยาม ดังนี้

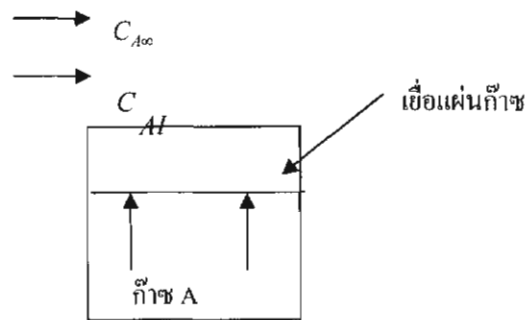
$$k_c^* = \frac{J_A}{C_{Ai} - C_{A\infty}} = - \frac{D(\partial C_A / \partial Z)_{Z=0}}{C_{Ai} - C_{A\infty}} \quad (2.9)$$

โดย k_c^* : สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล

C_{AI} : ความเข้มข้นของกระแสของไหลที่พื้นผิวเยื่อแผ่น

ถ้าเขียนสมการตามแบบสมการ Newton's law จะได้

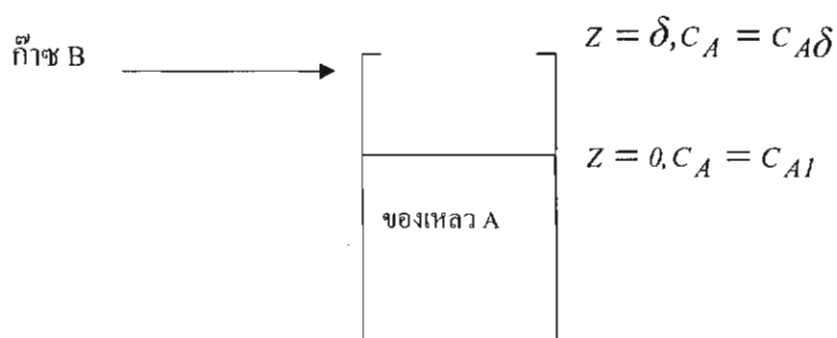
$$N_A = k_c^*(C_{AI} - C_{A\infty}) \quad (2.10)$$



รูปที่ 2.1 การแพร่ของก๊าซเข้าสู่กระแสอากาศ

สมการข้างต้นมีข้อจำกัดที่อัตราการถ่ายเทมวลมีค่าต่ำ การไหลในกระแสก๊าซมีค่าต่ำ และโปรไฟล์ความเข้มข้นเป็นเส้นตรง

รูปแบบที่ง่ายของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลแบบการพาที่สภาวะการระเหยคงตัวของสาร A (ของเหลว) เข้าไปในกระแสก๊าซ B แสดง ตามรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การถ่ายเทมวลแบบการพาของ A เข้าสู่กระแส B

ตามนิยามการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลพบว่า แบ่งได้ 2 กรณี คือ การแพร่สวนทางกันของสารเท่ากัน (equimolar counter diffusion) และการแพร่ของสารองค์ประกอบเดียว (single component)

2.3.1 การแพร่สวนทางของสารที่มีโมเลกุลเท่ากัน คือ การแพร่ที่ฟลักซ์ของสาร A เท่ากับ ฟลักซ์ของสาร B ที่มีทิศตรงข้าม ได้แก่ ($N_{AZ} = -N_{BZ}$) ทำให้เทอม bulk flow เป็นศูนย์ จากกฎของ Fick สามารถเขียนฟลักซ์ของการถ่ายเทมวลได้ ดังนี้

$$N_A = -CD_{AB}\nabla x_A + x_A(N_A + N_B) \quad (2.11)$$

เมื่อ ($N_{AZ} = -N_{BZ}$) สมการจะลดรูปเป็น

$$N_{AZ} = -D_{AB} \frac{dC_A}{dZ} \quad (2.12)$$

สมมติให้ฟลักซ์และสัมประสิทธิ์การแพร่คงที่

$$N_A \int_0^\delta dZ = -D_{AB} \int_{C_{A\delta}}^{C_{AI}} dC_A \quad (2.13)$$

$$N_A = \frac{D_{AB}}{\delta} (C_{AI} - C_{A\delta}) \quad (2.14)$$

โดย δ ความยาวของการแพร่ (diffusion path) และจากสมการที่ (2.10) และ (2.14)

$$N_A = k'_C (C_{AI} - C_{A\delta}) \quad (2.15)$$

โดย $k'_C = D_{AB}/\delta =$ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของ Colburn-Drew

ส่วนชั้นของเหลว

$$N_A = k'_C (C_{AI} - C_{A\delta}) = k'_L (C_{AI} - C_{A\delta}) \quad (2.16)$$

$$N_A = Ck'_L (X_{AI} - X_{A\delta}) = k'_A (X_{AI} - X_{A\delta}) \quad (2.17)$$

ในกรณีของก๊าซ ความเข้มข้นสารสามารถเขียนในเทอมก๊าซอุดมคติ

$$N_A = \frac{k'_C}{RT}(P_{AI} - P_{A\delta}) = k'_G(P_{AI} - P_{A\delta}) \quad (2.18)$$

P_A คือความดันย่อย ถ้าที่ความดันต่ำความดันย่อยเขียนในรูปสัดส่วน โมลตามกฎของ Dalton คือ

$$N_A = Pk'_G(Y_{AI} - Y_{A\delta}) = k'_y(Y_{AI} - Y_{A\delta}) \quad (2.19)$$

2.3.2 การแพร่ของสาร A ผ่าน ก๊าซที่หยุดนิ่ง (stagnant gas) การแพร่ของสาร A ผ่านก๊าซหยุดนิ่ง (B) สามารถลดรูปสมการ (2.11) โดยเซทให้ฟลักซ์ของ B เท่ากับศูนย์ ดังนี้

$$N_A = -D_{AB} \frac{dC_A}{dZ} + \frac{C_A}{C} N_A \quad (2.20)$$

หรือ
$$N_A \left(1 - \frac{C_A}{C} \right) = -D_{AB} \frac{dC_A}{dZ} \quad (2.21)$$

สมมติว่า molar flux และ diffusivity คงที่ สามารถจัดรูป สมการเป็น

$$N_A \int_0^\delta dZ = -D_{AB} \int_{C_{AI}}^{C_{A\delta}} \frac{dC_A}{1 - C_A/C} \quad (2.22)$$

$$N_A = \frac{CD_{AB}}{\delta} \ln \frac{1 - C_{A\delta}/C}{1 - C_{AI}/C} \quad (2.23)$$

คูณและหารเทอมทางขวาด้วย $[CI - C_{A\delta}/C) - (1 - C_{AI}/C)]$

$$N_A = \frac{HK'_C}{RT(P_B)_M}(P_{AI} - P_{A\delta}) = \frac{HK'_G}{(P_B)_M}(P_{AI} - P_{A\delta}) \quad (2.24)$$

เทอม

$$(1 - C_A/C)_M = \frac{(1 - C_{A\delta}/C) - (1 - C_{AI}/C)}{\ln[(1 - C_{A\delta}/C)/(1 - C_{AI}/C)]} = \left(\frac{C_B}{C} \right)_M = \left(\frac{C_B}{C} \right)_M \quad (2.25)$$

$$N_A = \frac{k'_C}{(1 - C_A/C)_M}(C_{AI} - C_{A\delta}) = k_C(C_{AI} - C_{A\delta}) \quad (2.26)$$

$$N_A = k_C(C_{AI} - C_{A\delta}) = k_L(C_{AI} - C_{A\delta}) \quad (2.27)$$

$$= Ck_L(X_{AI} - X_{A\delta}) = k_X(X_{AI} - X_{A\delta}) \quad (2.28)$$

หรือ

$$N_A = \frac{PD_{AB}}{RT\delta(P_B)_M} (P_{Ai} - P_{A\delta}) \quad (2.29)$$

หรือ

$$N_A = \frac{Pk'_C}{RT(P_B)_M} (P_{Ai} - P_{A\delta}) = \frac{Pk'_G}{(P_B)_M} (P_{Ai} - P_{A\delta}) \quad (2.30)$$

$$N_A = k_G (P_{Ai} - P_{A\delta}) = Pk_G (Y_{Ai} - Y_{A\delta}) \quad (2.31a)$$

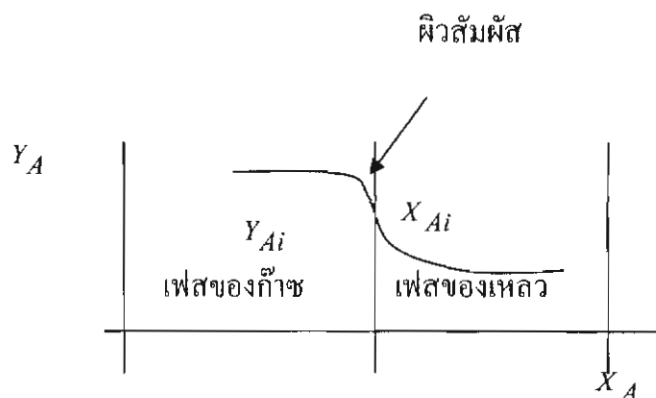
$$= ky(Y_{Ai} - Y_{A\delta}) \quad (2.31b)$$

สรุปได้ว่า

$$\text{ชั้นของเหลว: } k'_X = ck'_L = \frac{\rho}{M} k'_L = k_X (X_B)_M = ck_L (X_B)_M \quad (2.32)$$

$$\text{ชั้นก๊าซ: } \frac{Pk'_C}{RT} = Pk'_G = k'_y = (P_B)_M k_G = \frac{(P_B)_M ky}{P} \quad (2.33)$$

ในการสัมผัสกันของอากาศและน้ำ องค์ประกอบสำคัญที่เราสนใจ คือก๊าซออกซิเจน โมเลกุลของออกซิเจนจะถ่ายเทข้ามเฟสของก๊าซเข้าสู่เฟสของน้ำ การถ่ายเทข้ามเฟสนี้เกิดขึ้นจากกลไกการแพร่หรือการพาเนื่องจากการผสม (convective mixing) อัตราของการถ่ายเทออกซิเจนในน้ำ ในการอธิบายแบบจำลองของการถ่ายเทออกซิเจนข้ามเฟสนี้ สามารถทำนายจากทฤษฎี 2 ความต้านทาน (two-resistance theory) ที่กล่าวว่าในบริเวณพื้นผิวการถ่ายเทระหว่างก๊าซ-ของเหลว จะพบฟิล์มของสารทั้งสอง หนูนึงระหว่างผิวสัมผัสของการถ่ายเทฟิล์มดังกล่าว เรียกว่า ฟิล์มก๊าซ (gas film) และฟิล์มของเหลว (liquid film) โดยทฤษฎีจะสมมติให้ความต้านทานเกิดเฉพาะบริเวณฟิล์มทั้ง 2 แต่ไม่เกิดระหว่างผิวสัมผัส ตามรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 บริเวณถ่ายเทมวลสารที่ interface

โดยความเข้มข้น Y_A และ X_A คือ ค่าความเข้มข้นของ A ในเฟสของก๊าซ และเฟสของเหลวตามลำดับ ส่วน Y_{Ai} และ X_{Ai} คือความเข้มข้นของ A ที่ผิวสัมผัส (interface) ของเฟสของก๊าซ และเฟสของเหลว ความสัมพันธ์ระหว่าง X_{Ai} กับ Y_{Ai} ในกรณีของ dilute solution สามารถคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซ A ในของเหลวได้จากสมการของ Henry's law ดังนี้ คือ

$$Y_{Ai} = mX_{Ai} \quad (2.34)$$

โดย m คือ ค่าคงที่ Henry ในกรณีของไนโตรเจนและออกซิเจนมีค่า ตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าคงที่ Henry

อุณหภูมิ (°C)	$m \times 10^{-4}$ (atm/mol fraction)	
	N ₂	O ₂
0	5.29	2.55
10	6.68	3.27
20	8.04	4.01
30	9.24	4.75
40	10.4	5.35
50	11.3	5.88

ที่สภาวะคงตัว อัตราการถ่ายเทออกซิเจนทางด้านเฟสของก๊าซผ่านผิวหน้าเท่ากับอัตราการถ่ายเทผ่านฟิล์มของเหลว โดยหลักการถ่ายเทออกซิเจน คือ

$$\begin{aligned} \text{หลักการถ่ายเทออกซิเจน} &= \text{โมลออกซิเจน} / \text{พื้นที่ถ่ายเท} - \text{เวลา} \\ &= k_g (C_g - C_{gi}) \\ &= k_L (C_{ii} - C_i) \end{aligned} \quad (2.35)$$

โดย C_g : ความเข้มข้นออกซิเจนที่เฟสของก๊าซ

C_{gi} : ความเข้มข้นออกซิเจนที่ผิวหน้าด้านเฟสของก๊าซ

C_i : ความเข้มข้นออกซิเจนที่เฟสของเหลว

เนื่องจากความเข้มข้นที่ผิวหน้าโดยทั่วไปวัดค่ายาก จึงแสดงการถ่ายเทมวลในเทอมของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวม K_L และแรงขับเคลื่อน $C_i^* - C_i$ โดย C_i^* คือความเข้มข้นที่เฟสของเหลวที่สมดุลกับเฟสของก๊าซ โดย

$$mC_l^* = C_g \quad (2.36)$$

ดังนั้น อาจเขียนเทอมฟลักซ์ได้ดังนี้

$$\text{ฟลักซ์} = K_L (C_l^* - C_l) \quad (2.37)$$

โดย สัมประสิทธิ์ทั้ง 2 เทอมสัมพันธ์กัน ดังนี้

$$\frac{1}{K_L} = \frac{1}{k_L} + \frac{1}{mk_g} \quad (2.38)$$

พบว่า m มีค่ามากกว่า k_g โดยทั่วไปมีค่ามากกว่า k_L ดังนั้น K_L จึงมีค่าใกล้เคียงกับ k_L

ความต้านทานที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ คือทางด้านฟิล์มของเหลว ค่าอัตราการถ่ายเทออกซิเจนต่อหน่วยปริมาตรมีค่าเท่ากับอัตราการดูดซับออกซิเจน ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{อัตราการดูดซับออกซิเจน} &= \frac{\text{ฟลักซ์} \times \text{พื้นที่สัมผัส}}{\text{ปริมาตรของเหลว}} \\ &= k_L (C_l^* - C_l) \frac{A}{V} \\ &= k_L a' (C_l^* - C_l) \end{aligned} \quad (2.39)$$

ดังนั้นเทอมสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลในการถ่ายเทออกซิเจนของเครื่องเดิมอากาศจะแสดงในเทอมของ $K_L a$ ซึ่งเป็นสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวม

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

การดำเนินงานได้แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ส่วนละ 6 เดือน เป็นเวลารวม 2 ปี ในปัจจุบันได้ดำเนินงานวิจัยมาแล้ว 2 ปี 4 เดือน(โดยขอทุนวิจัยเวลาศึกษา 4 เดือน) โดยมีขั้นตอนในการดำเนินงานทั้งหมด ดังนี้

1. รวบรวมข้อมูลการทดสอบเครื่องเดิมอากาศจากมาตรฐานต่างๆ เช่น มาตรฐาน ASCE เป็นต้น เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบและจัดสร้างบ่อทดสอบ
2. จัดตั้งศูนย์วิจัยและทดสอบการเดิมอากาศ
3. จัดหาเครื่องมือมาตรฐานในการวิเคราะห์น้ำ การละลายของออกซิเจนในน้ำ และการวัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องเดิมอากาศ เป็นต้น
4. ประสานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้แก่ กรมควบคุมมลพิษ สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม บริษัทผู้ผลิตเครื่องเดิมอากาศ เป็นต้น เพื่อกำหนดแนวทางการทดสอบการเดิมอากาศ โดยการจัดการประชุมเชิงปฏิบัติการเพื่อรวบรวมข้อมูลจัดทำ protocol ขึ้นมาสนับสนุนให้การทดสอบเป็นที่ยอมรับทั้งภายในประเทศและในต่างประเทศ
5. ออกแบบถังทดสอบขนาด $1.5 \times 2 \times 5$ เมตร เพื่อใช้ในการศึกษาและเก็บข้อมูลเบื้องต้น อีกทั้งถังทดสอบนี้ยังสามารถใช้เป็นถังทดสอบสมรรถนะของเครื่องเดิมอากาศในเบื้องต้น ถังทดสอบจะประกอบด้วยกระจกใส 1 ด้าน (บางส่วน) เพื่อสามารถบันทึกการทำงานของอุปกรณ์ด้วยกล้องถ่ายรูปและวิดีโอ และการทดสอบทางไฮโดรไดนามิกส์ (hydrodynamics) อื่นๆ เช่นการศึกษาโปรไฟล์ความเร็วของของเหลว ความดันที่ตกคร่อมอุปกรณ์ และโปรไฟล์ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายในน้ำ เป็นต้น ถังทดสอบนี้จะออกแบบและจัดสร้างให้สามารถทดสอบสมรรถนะของเครื่องเดิมอากาศเบื้องต้น รวมทั้งใช้เป็นถังทดสอบเครื่องเดิมอากาศแบบหัวกระจาย
6. สร้างถังทดสอบขนาด $1.5 \times 2 \times 5$ เมตร
7. ทดสอบการทำงานของถังทดสอบขนาด $1.5 \times 2 \times 5$ เมตร
8. ออกแบบบ่อทดสอบขนาด $6 \times 6 \times 5$ เมตร
9. สร้างบ่อทดสอบขนาด $6 \times 6 \times 5$ เมตร
10. ทดสอบการทำงานของบ่อทดสอบขนาด $6 \times 6 \times 5$ เมตร
11. จัดวางขั้นตอนและหลักเกณฑ์ในการทดสอบ
12. ประชาสัมพันธ์ให้หน่วยงานภาครัฐและเอกชนรับทราบในการเป็นหน่วยงานที่สามารถรับวิจัยและตรวจสอบการเดิมอากาศ และการจัดฝึกอบรม
13. การทดสอบการวัดประสิทธิภาพของเครื่องเดิมอากาศ

14. ศึกษาการทดสอบทางไฮโดรไดนามิกในบ่อทดสอบขนาด $6 \times 6 \times 5$ เมตร ได้แก่ การศึกษาโปรไฟล์ความเร็วของของเหลว ความดันที่ตกคร่อมอุปกรณ์ และโปรไฟล์ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายในน้ำ เป็นต้น
15. อบรมบุคลากรให้มีความรู้ในเรื่องการเติมอากาศและการทดสอบ
16. สรุปผลงานที่ได้ดำเนินการ

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

4.1. การรวบรวมมาตรฐานการทดสอบและเอกสารอื่นๆ

4.1.1 รวบรวมมาตรฐานการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศในน้ำสะอาด ASCE, ATV และ prEN

4.1.2 รวบรวม catalog จากผู้ผลิตและผู้จำหน่ายเครื่องเติมอากาศในประเทศและต่างประเทศ

4.1.3 รวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการเติมอากาศ ระบบบำบัดน้ำเสีย และอื่นๆ

4.2 การจัดตั้งศูนย์ฯ

ได้รับการสนับสนุนให้จัดตั้งศูนย์วิจัยและทดสอบการเติมอากาศ โดยทำงานภายใต้ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ มีภารกิจหลักในเบื้องต้นคือการรับทดสอบประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศ และให้คำแนะนำกับผู้ประกอบการ การศึกษาสมบัติของน้ำเสีย อีกทั้งการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีประสิทธิภาพสูงก็ถือเป็นภารกิจหลักของโครงการเช่นกัน โดยคาดว่ารายได้ของศูนย์ในอนาคตจะเกิดขึ้นจากเงินรับจ้างทดสอบ เงินสนับสนุนจากการถ่ายทอดเทคโนโลยีการเติมอากาศ รายได้จากการฝึกอบรม และเงินจากการ ขอเงินสนับสนุนวิจัยจากภาครัฐและเอกชน เป็นต้น

4.3 การดำเนินการจัดหาครุภัณฑ์โครงการ

ครุภัณฑ์ที่ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก สกว. รวมทั้งหมด 14 รายการ แต่ได้ขออนุมัติเพิ่ม 2 รายการ คือ ตู้เก็บเอกสาร และยกเลิกรายการคือ เครื่องวัดอุณหภูมิ และกล้องใต้น้ำ โดยเงินที่ได้รับการจัดสรรในการซื้ออุปกรณ์ทั้งสองได้สมทบจัดซื้อเครื่องวัดความเร็วน้ำทดแทน ครุภัณฑ์ที่ได้ทำการจัดซื้อทั้งหมดในโครงการแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.1 รวมทั้งหมด 14 รายการ (ข้อมูลละเอียดแสดงในภาคผนวก)

ตารางที่ 4.1 ครุภัณฑ์โครงการ

รายการ	เลขครุภัณฑ์	ราคา(บาท)
1. ตู้เลื่อนบานทึบ	RDG4530008/1	3,423.68
2. ตู้เลื่อนบานกระจก	RDG4530008/2	3,628.16
3. เครื่องคอมพิวเตอร์พร้อมวีดีโอการ์ดและโปรแกรม WINDOWS	RDG4530008/3	39,911.00
4. กล้อง Handycam	RDG4530008/4	49,900.00
5. เครื่องวัดออกซิเจนละลาย 3 ชุด	RDG4530008/5	319,850.00
6. เครื่องฉีดน้ำแรงดันสูง	RDG4530008/6	11,600.00
7. เครื่องวัดความเร็วอากาศ	RDG4530008/7	28,831.15
8. เครื่องวัดความดันบรรยากาศ	RDG4530008/8	3,105.00
9. ถังทดสอบ 1.5x2x5 เมตร	RDG4530008/9	199,754.79
10. ถังทดสอบ 6x6x5 เมตร	RDG4530008/10	1,000,000.00
11. เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า	RDG4530008/11	121,552.00
12. เคนยของ	RDG4530008/12	73,733.70
13. เครื่องวัดผลต่างความดัน	RDG4530008/13	28,888.40
14. เครื่องวัดความเร็วน้ำ	RDG4530008/14	445,120.00
	รวม	2,329,297.88

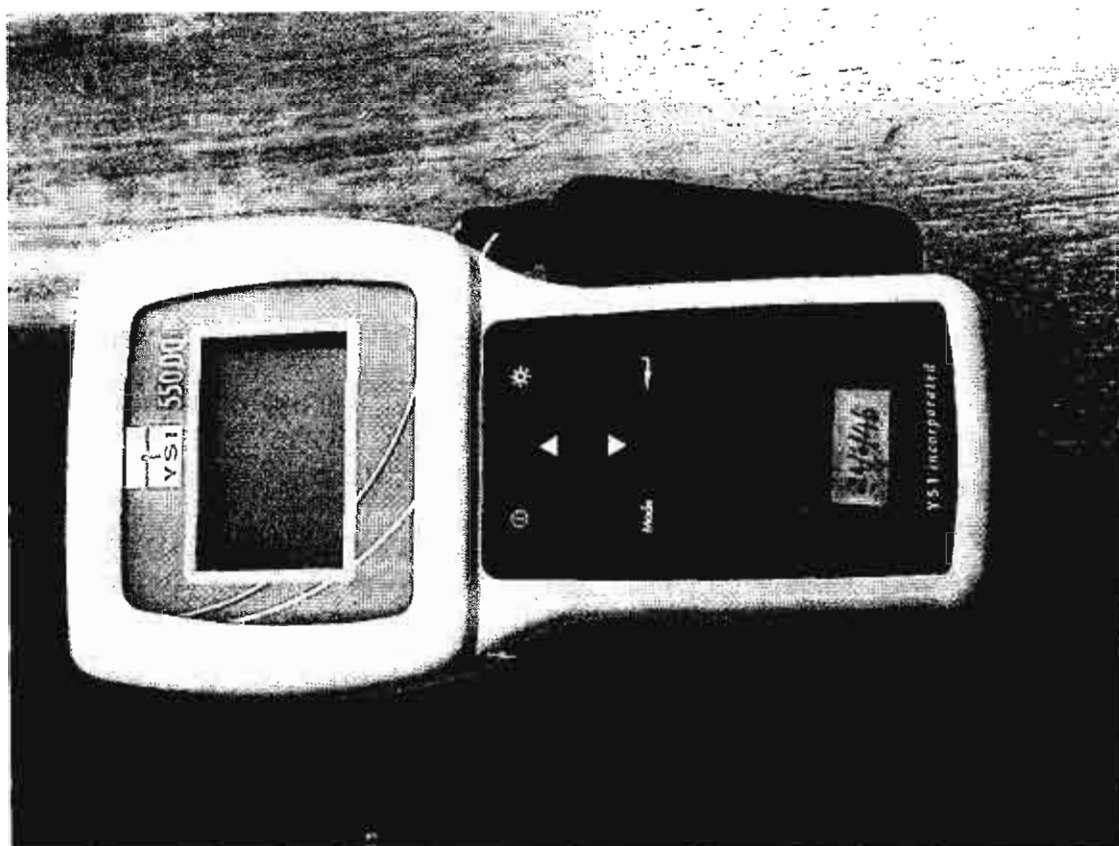
เครื่องวัดออกซิเจนละลายตามรูปที่ 4.1 เป็นอุปกรณ์สำคัญในการติดตามการเปลี่ยนแปลงค่าออกซิเจนละลายในขณะทดสอบสมรรถนะของเครื่องเติมอากาศ โดยมาตรฐาน ASCE แนะนำว่าควรมีเครื่องวัดออกซิเจนละลายไม่น้อยกว่า 3 เครื่องในการเก็บข้อมูลแต่ละครั้ง โดยการทดสอบทุกครั้งควรทำการ calibrate เครื่องเพื่อให้ค่าออกซิเจนละลายมีค่าใกล้เคียงกัน เพื่อป้องกันการผิดพลาดจากการวิเคราะห์ข้อมูล เช่นถ้าค่าออกซิเจนละลายให้ค่าที่ต่างกันอาจเนื่องมาจากการ calibrate เริ่มต้นผิดพลาดหรือเกิดจากการติดตั้งหัววัดค่าออกซิเจนละลายในตำแหน่งไม่ดี ดังนั้นการ calibrate ที่ค่าศูนย์และค่าการละลายอิ่มตัว จึงเป็นที่นิยมกระทำก่อนการตรวจวัด



(n)



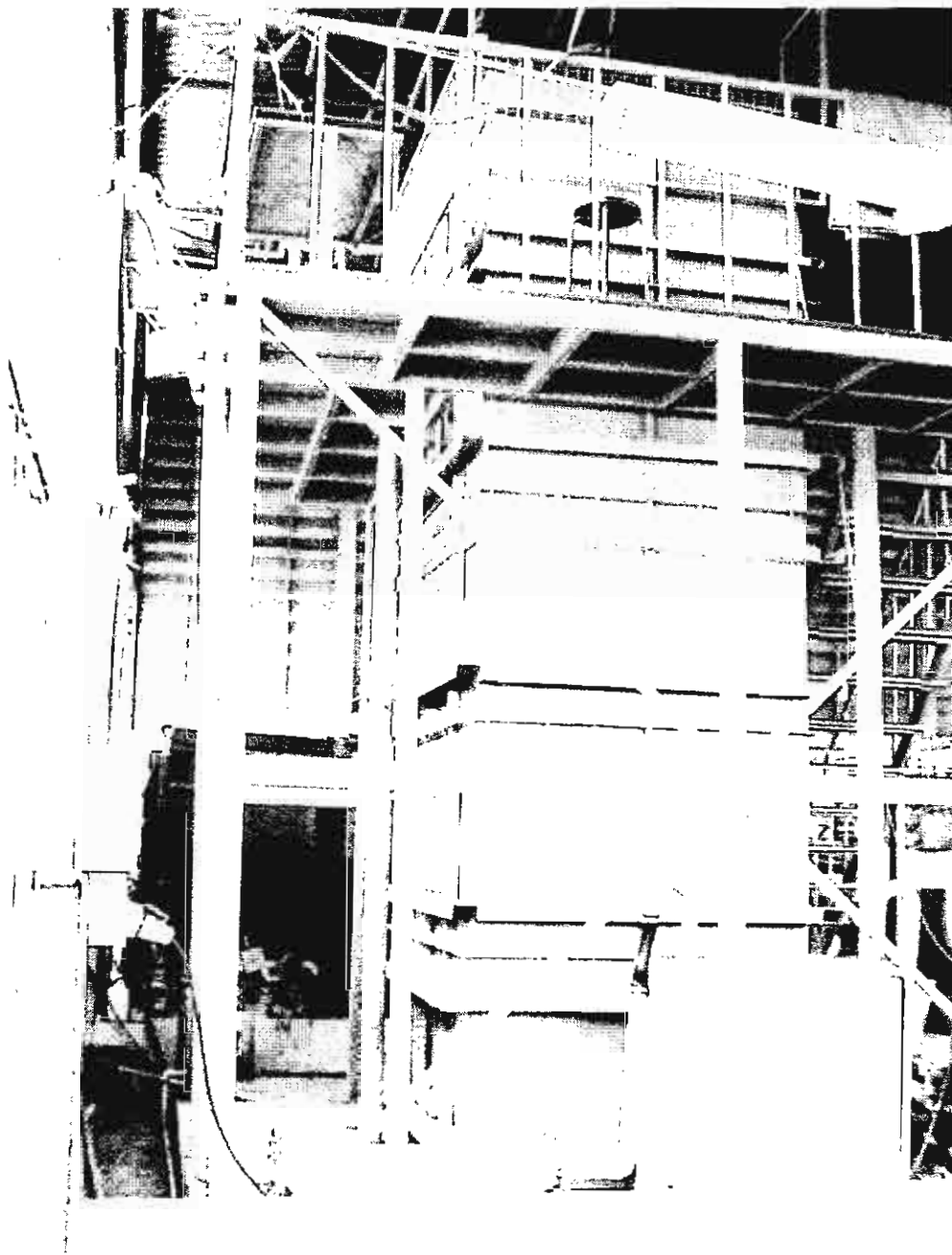
(u)



(ค)

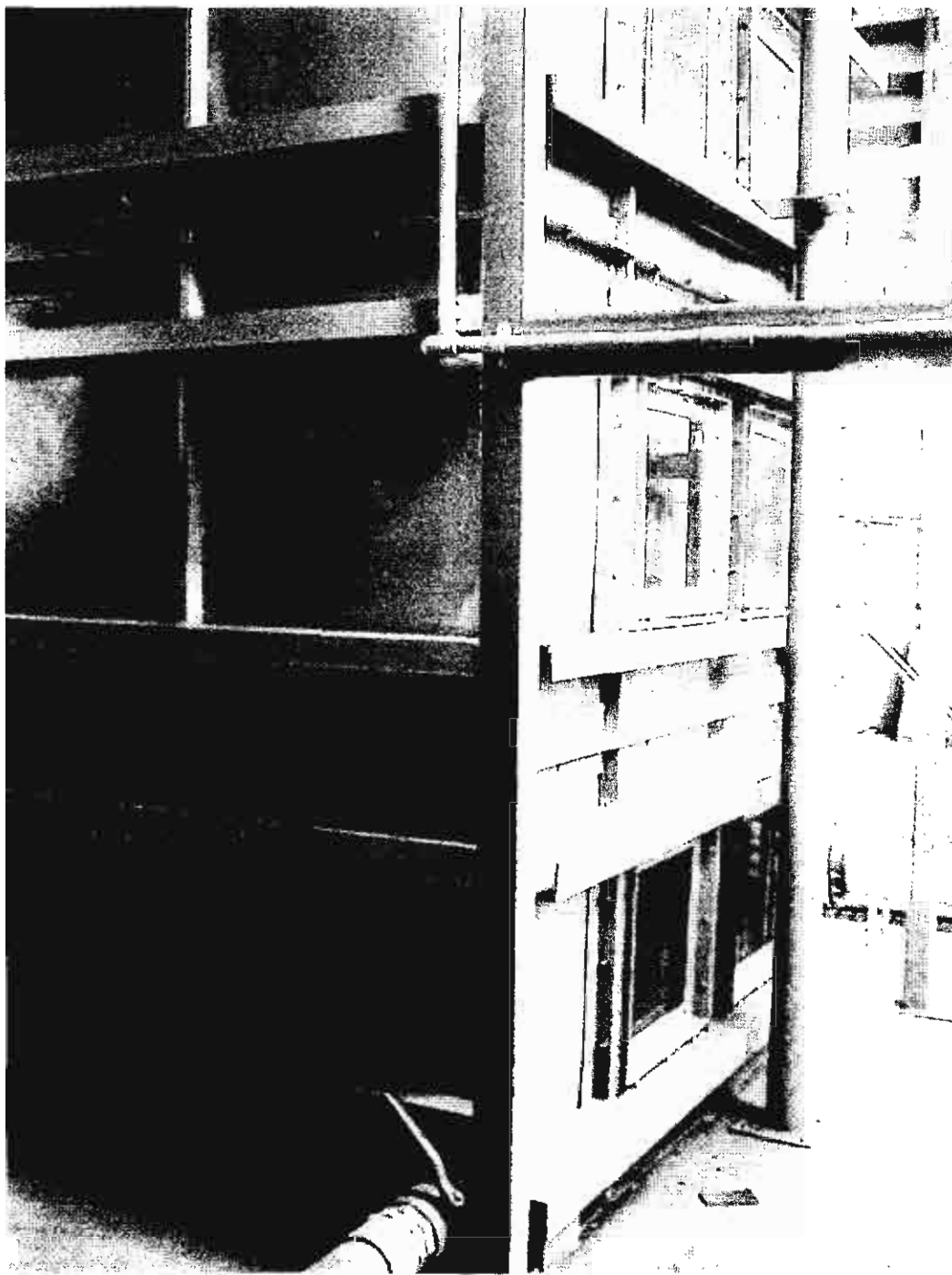
รูปที่ 4.1 เครื่องวัดออกซิเจนละลาย

รูปที่ 4.2 เป็นถังทดสอบเครื่องเดิมอากาศขนาด 1.5x2x5 เมตร ทำจากโครงเหล็กและแผ่นเหล็กภายในทาสี epoxy ถังทดสอบนี้ได้ออกแบบและติดตั้งที่ สจพ.กรุงเทพ ณ โรงฝึกงานภาควิชาวิศวกรรมเคมี ด้านหลังของถังทดสอบได้ออกแบบให้มีช่องกระจกขนาดประมาณ 40x40 เซนติเมตร 2 บานวางคู่กัน (ดูภาพเขียนแบบในภาคผนวก ประกอบ) ที่ระดับความสูง 0.5-4.5 เมตร (รวมติดตั้งกระจก 10 บาน) โดยทำการติดตั้งกระจกทุกๆความสูง 1 เมตร แสดงตามรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.2 ถังทดสอบเครื่องเติมอากาศขนาด 1.5x2x5 เมตร

ถังทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการทดสอบเครื่องเติมอากาศขนาดเล็ก(ไม่เกิน 5 แรงม้า) และทดสอบเครื่องเติมอากาศแบบ diffuser อีกทั้งการทดสอบเพื่อบันทึกและสังเกตการณ์ทำงานของเครื่องเติมอากาศได้น่าว่ามีพฤติกรรมการไหลของฟองอากาศอย่างไร การบันทึกสามารถทำได้โดยตรงจากการสังเกตที่กระจกหน้าเครื่องเติมอากาศ อีกทั้งยังสามารถถ่ายภาพฟองอากาศที่ผลิตได้จากเครื่องเติมอากาศ



รูปที่ 4.3 บานกระจกที่ถึงทดสอบเครื่องเดิมอากาศขนาด 1.5x2x5 เมตร ที่ระดับ 1,2 และ 3 เมตร

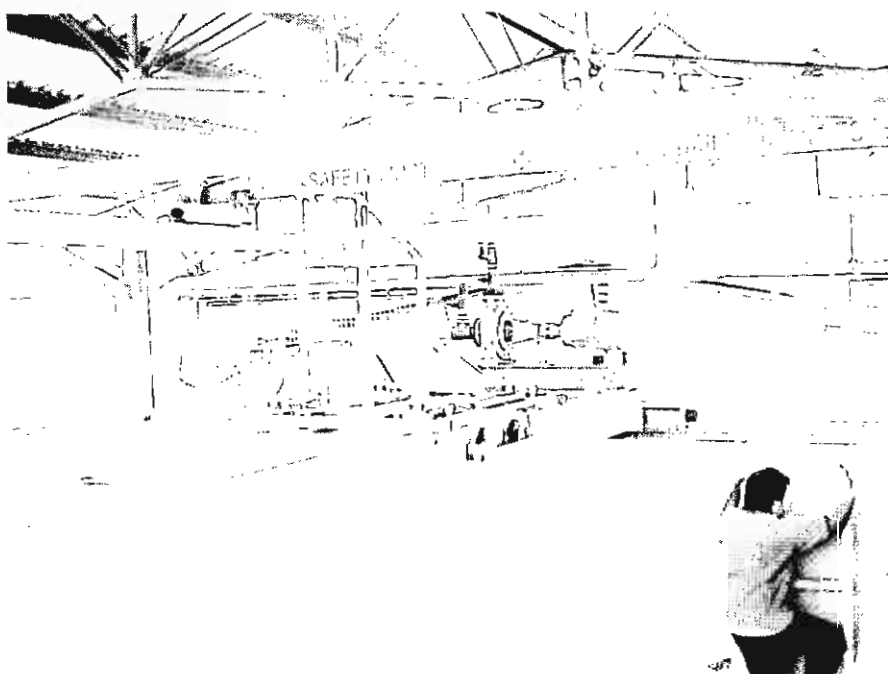
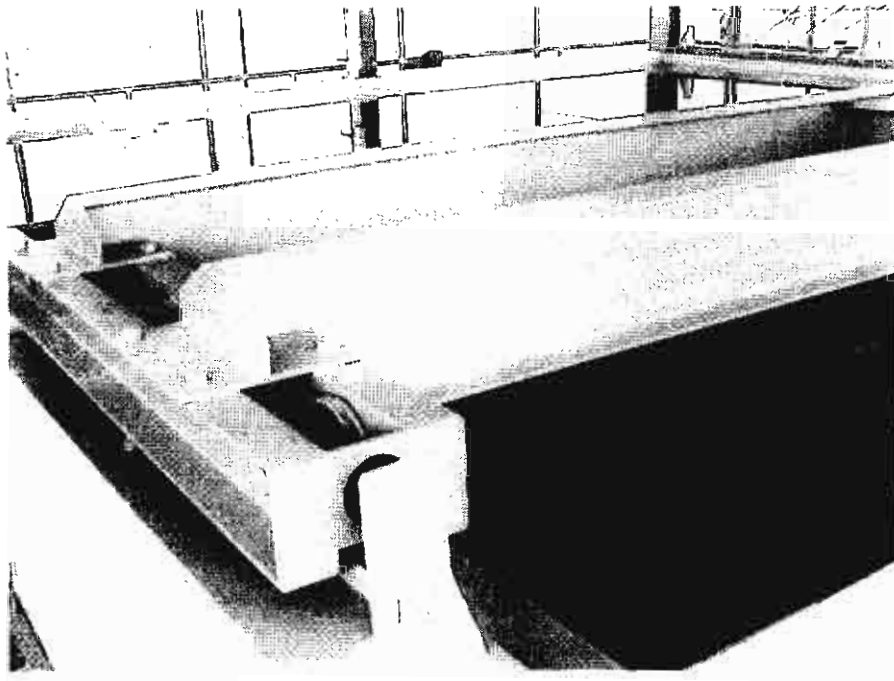
สำหรับบ่อทดสอบขนาด 6x6x5 เมตร ได้ดำเนินการจัดสร้างที่ สจพ. ปราจีนบุรี แสดงตามรูปที่ 4.4 เป็นบ่อคอนกรีตเสริมเหล็ก ภายในบ่อทาด้วยสีอีพอกซี เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากสารที่ละลายกลับมาจากคอนกรีตที่ใช้ก่อสร้างบ่อ ตัวบ่อจะอยู่ในโครงหลังคาเหล็ก เพื่อความสะดวกในการเก็บ

ข้อมูล และรูปที่ 4.5 แสดงเคนยกของขนาด 1 ตัน ที่ติดตั้งภายในบ่อทดสอบ เคนนี้ได้ออกแบบและติดตั้งบริเวณขอบบ่อ รอกที่ใช้ในการยกเป็นรอกสามด้วยมือ บ่อทดสอบเครื่องเดิมอากาศนี้ถูกออกแบบให้สามารถทดสอบเครื่องเดิมอากาศขนาดไม่เกิน 20 แรงม้าและมีน้ำหนักยกไม่เกิน 1 ตัน

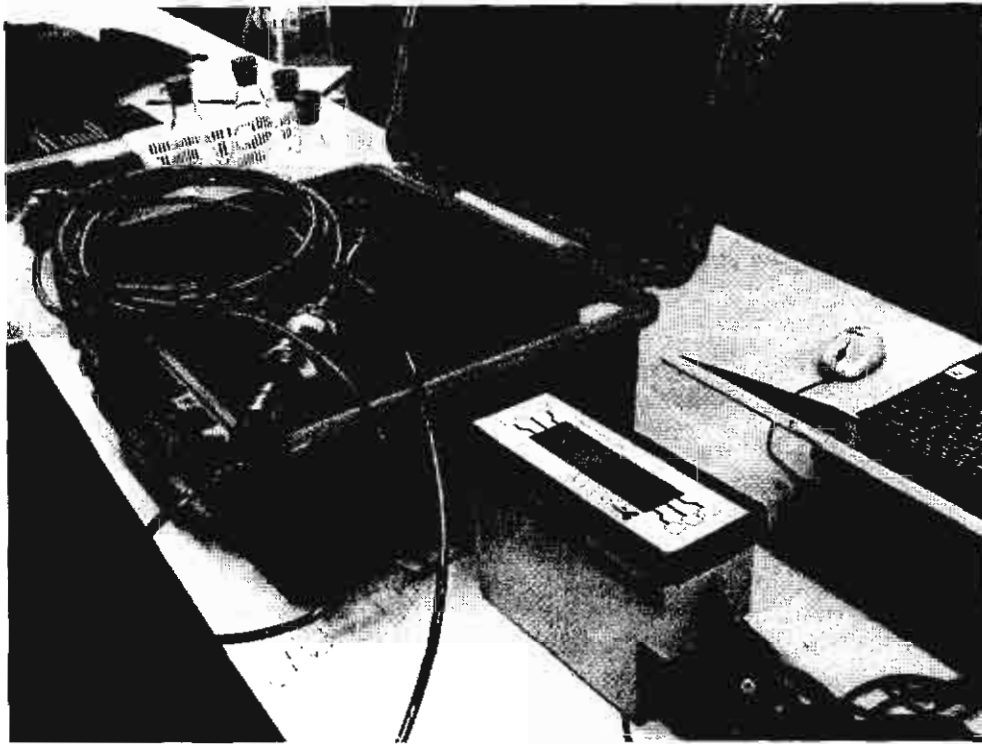


รูปที่ 4.4 บ่อทดสอบเครื่องเดิมอากาศขนาด 6x6x5 เมตร

รูปที่ 4.6 เป็นเครื่องวัดความเร็วน้ำ 2 ทิศทาง ทำงานโดยใช้หลักการทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อ นำหัว sensor ไปติดตั้งในตำแหน่งต่างๆ ที่ต้องการวัดความเร็ว ตัวอย่างตามรูปที่ 4.7 ได้ทำการติดตั้งเครื่องวัดความเร็วน้ำและทำการทดสอบการวัดความเร็วของกระแสน้ำในบ่อทดสอบ เพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหลของกระแสน้ำในบ่อน้ำ ที่มีการติดตั้งเครื่องเดิมอากาศชนิดหนึ่ง ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการตรวจวัดความเร็วน้ำนี้จะใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษา hydrodynamics ของบ่อเดิมอากาศ อีกทั้งในการทำงานจริงนั้นสามารถแนะนำการติดตั้งเครื่องเดิมอากาศ รวมถึงระยะห่างและการจัดวางเครื่องเดิมอากาศให้มีการเดิมอากาศอย่างมีประสิทธิภาพ



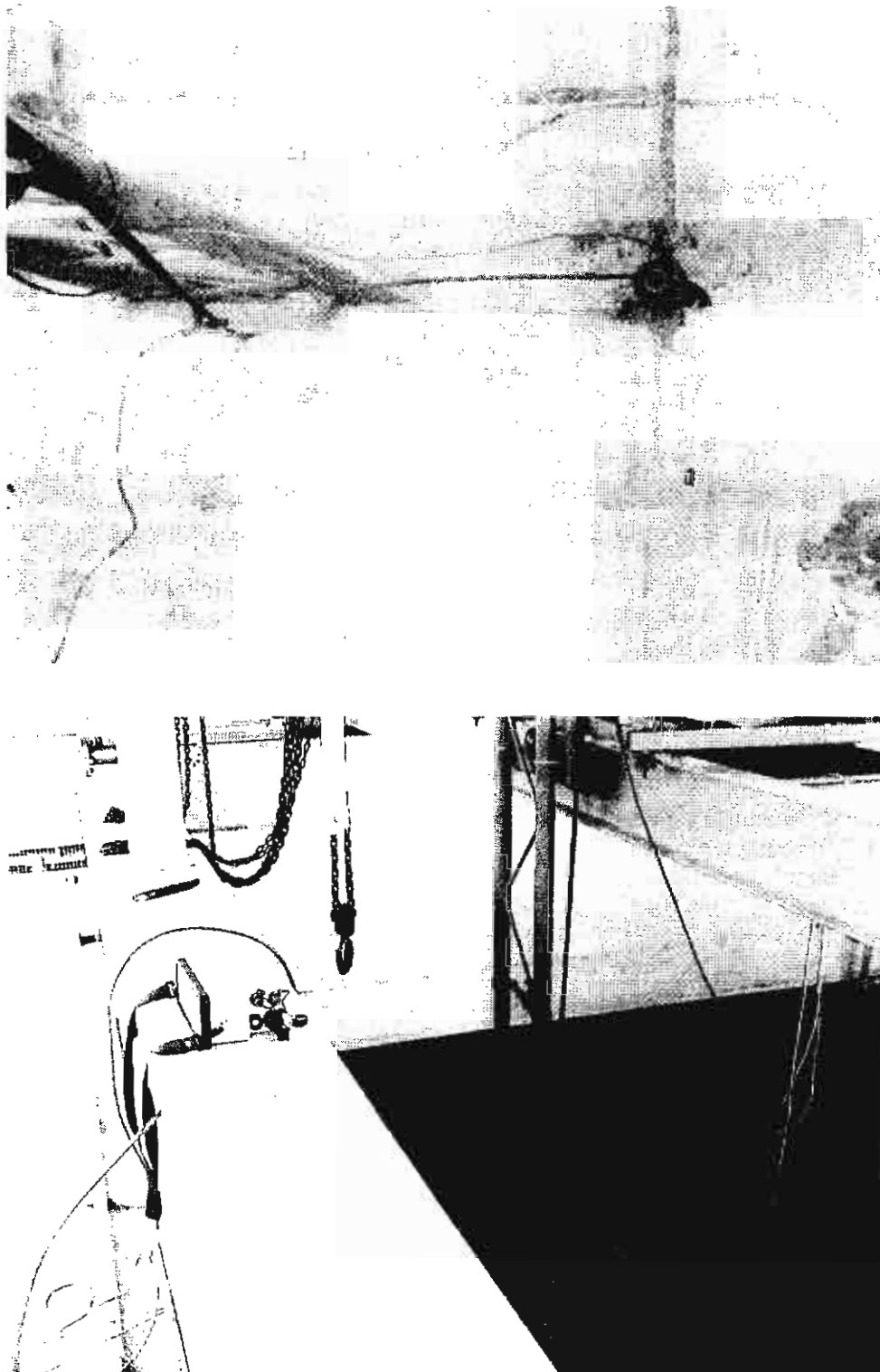
รูปที่ 4.5 เคนขกของ รอก และ คานรองรับเครื่องเติมอากาศ



รูปที่ 4.6 เครื่องวัดความเร็วน้ำ

ถึงแม้ว่าในปัจจุบันการใช้โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (computerized fluid dynamics) หรือเรียกย่อๆว่า “CFD” จะได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่นักวิจัยที่ทำงานเกี่ยวข้องกับทางด้านนี้ได้ยอมรับกันว่า ผลตอบที่ได้รับจากการทำ simulation นั้นยังให้ผลที่คาดเคลื่อนจากผลการวัดจริงอยู่ อีกทั้งข้อมูลความเร็วน้ำที่แม่นยำนั้นมีจำนวนจำกัดมาก (เนื่องจากมีความผันผวนมากในระหว่างตรวจวัด) จึงทำให้การใช้เทคนิค CFD ในการออกแบบระบบเดิมอากาศ(ในมุมมองของการผสมและเคลื่อนที่ของกระแสน้ำ) ยังต้องได้รับการพัฒนาต่อไป

ในปัจจุบันศูนย์วิจัยฯ ได้เริ่มประยุกต์ใช้ CFD ในการศึกษา hydrodynamics ที่ติดตั้งเครื่องเดิมอากาศในบ่อ โดยเน้นที่การติดตั้งเครื่องเดิมอากาศในระบบบำบัดน้ำเสียเป็นหลัก ดังนั้นข้อมูลความเร็วน้ำที่ได้จากการตรวจวัดจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากผลตอบของการทำ CFD โดยคาดหวังว่าในอนาคต เทคนิค CFD จะถูกใช้เป็นเครื่องมือออกแบบระบบเดิมอากาศ(การควบคุมและจัดวางเครื่องเดิมอากาศ)ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม่นยำ และประหยัดค่าใช้จ่ายทางหนึ่ง



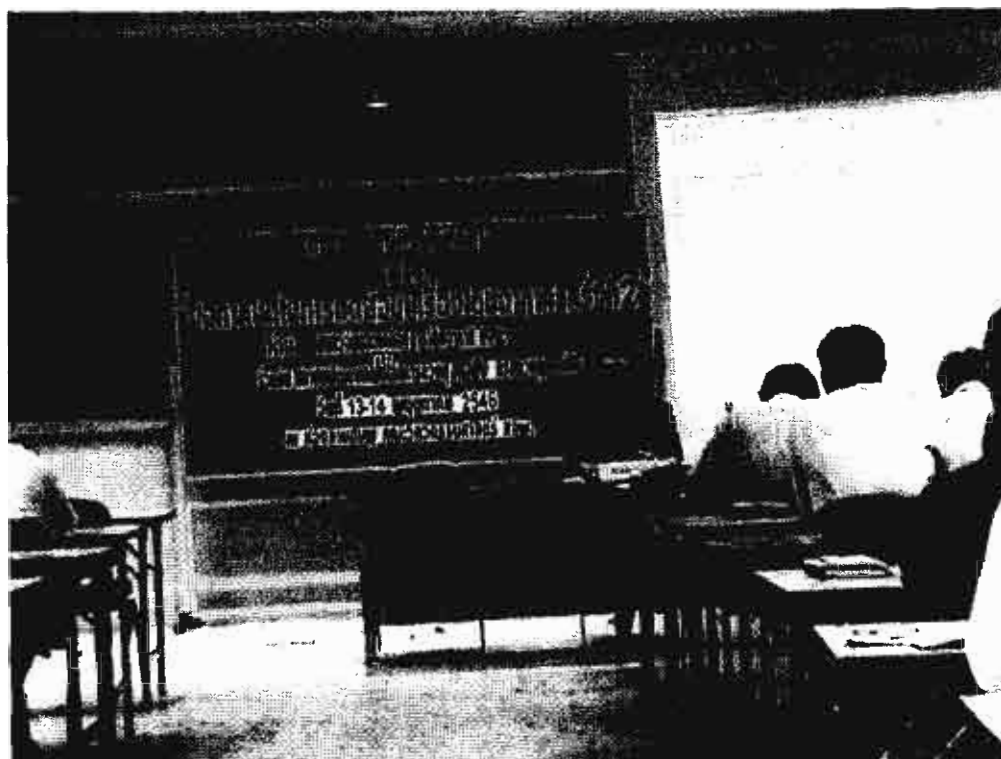
รูปที่ 4.7 การติดตามบันทึกผลกระแสน้ำด้วยเครื่องวัดความเร็วน้ำ

4.4 การจัดประชุมสัมมนาเชิงปฏิบัติการ

การจัดประชุมสัมมนาวิชาการได้ดำเนินการจัดการประชุมขึ้น 2 ครั้ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมความคิดเห็นในการจัดทำข้อกำหนดการทดสอบเครื่องเติมอากาศ และให้เกิดการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างหน่วยงาน รวมทั้งการให้ความรู้เบื้องต้นในการทดสอบเครื่องเติมอากาศ

การจัดประชุมสัมมนาเชิงปฏิบัติการครั้งแรก ได้จัดขึ้นในวันที่ 10 พฤษภาคม 2545 ณ ห้องถนอมพูน คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในหัวข้อเรื่อง “ข้อกำหนดในการทดสอบเครื่องเติมอากาศ ครั้งที่ 1” มีผู้เข้าร่วมประชุมสัมมนา 39 คน รายงานการสัมมนาเชิงปฏิบัติการแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก ผลการจัดสัมมนาพอสรุปได้ ดังนี้ คือ ผู้เข้าร่วมสัมมนาประกอบด้วยผู้ประกอบการประมาณ 55% ที่เหลือเป็นหน่วยงานจากสถาบันการศึกษา ผู้เข้าร่วมสัมมนาส่วนใหญ่ได้รับความรู้และแนวทางเพิ่มเติมจากศูนย์วิจัยและทดสอบการเติมอากาศ สจพ. และสถาบันพัฒนาเทคโนโลยีการควบคุมมลพิษ กรมควบคุมมลพิษ พร้อมทั้งรับทราบมาตรฐานการทดสอบเครื่องเติมอากาศตามมาตรฐานสากล เรียนรู้และแลกเปลี่ยนความคิดเห็นในมุมมองต่าง ๆ กันสำหรับผู้ประกอบการที่ทำธุรกิจในแนวเดียวกัน อีกทั้งความรู้ที่เกิดขึ้นจากการสัมมนายังสามารถนำไปประยุกต์เพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์ การทดสอบเครื่องเติมอากาศ และการให้ความรู้ที่ถูกต้องกับผู้ใช้และผู้ซื้อเครื่องเติมอากาศ

การจัดประชุมสัมมนาเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 2 เป็นการรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติมและประชุมเพื่อแสดงข้อคิดเห็นเพิ่มเติมหลังจากที่ได้มีการสาธิตขั้นตอนการทดสอบเครื่องเติมอากาศ การประชุมสัมมนาในหัวข้อเรื่อง “ข้อกำหนดในการทดสอบเครื่องเติมอากาศ ครั้งที่ 2” จัดขึ้นวันที่ 13-14 พฤษภาคม 2546 ณ ห้องถนอมพูน คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ แสดงตามรูปที่ 4.8 มีผู้เข้าร่วมประชุมสัมมนา 25 ท่าน รายงานการสัมมนาเชิงปฏิบัติการแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก ผลการจัดสัมมนาพอสรุปได้ ดังนี้ คือ ผู้เข้าร่วมสัมมนาประกอบด้วยผู้ประกอบการประมาณ 68% ที่เหลือเป็นหน่วยงานจากสถาบันการศึกษา ผู้เข้าร่วมสัมมนาส่วนใหญ่ได้รับความรู้และแนวทางเพิ่มเติมจากศูนย์วิจัยและทดสอบการเติมอากาศ สจพ. และสถาบันพัฒนาเทคโนโลยีการควบคุมมลพิษ กรมควบคุมมลพิษ เรียนรู้และแลกเปลี่ยนความคิดเห็นในมุมมองต่าง ๆ กันสำหรับผู้ประกอบการที่ทำธุรกิจในแนวเดียวกัน อีกทั้งความรู้ที่เกิดขึ้นจากการสัมมนายังสามารถนำไปประยุกต์เพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์ การทดสอบเครื่องเติมอากาศ และการให้ความรู้ที่ถูกต้องกับผู้ใช้และผู้ซื้อเครื่องเติมอากาศ การสัมมนาครั้งนี้มีการสาธิตและให้ผู้เข้าร่วมสัมมนาได้ทำการทดลองและบันทึกข้อมูล เพื่อใช้หาประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศ



รูปที่ 4.8 การจัดประชุมสัมมนาเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 2

4.5 การจัดทำข้อกำหนด

จากการประชุมสัมมนาทั้งสองครั้ง ทางศูนย์วิจัยและทดสอบการเติมอากาศได้รวบรวมข้อคิดเห็นและแนวทางปฏิบัตินำมาจัดทำคู่มือการทดสอบเครื่องเติมอากาศขึ้น 1 เรื่อง ภายใต้ชื่อเรื่อง “ข้อกำหนดในการทดสอบเครื่องเติมอากาศในน้ำสะอาด” พิมพ์ที่ Monster printing (ISBN 974-91654-1-1) จำนวน 40 หน้า เพื่อเผยแพร่ให้กับผู้สนใจ ในปัจจุบันศูนย์วิจัยฯ ได้เริ่มทดลองใช้ข้อกำหนดดังกล่าวในการทดสอบเครื่องเติมอากาศ พบว่าสามารถดำเนินการได้เป็นอย่างดีในการทดสอบเครื่องเติมอากาศในน้ำสะอาด อย่างไรก็ตามในด้านการรับรองผลิตภัณฑ์นั้นยังไม่สามารถดำเนินการหาหน่วยงานกลางเพื่อตรวจสอบและออกใบรับรองผลการทดสอบเครื่องเติมอากาศในน้ำสะอาด เนื่องจากได้รับแจ้งจากกรมควบคุมมลพิษถึงการเปลี่ยนแปลงนโยบาย

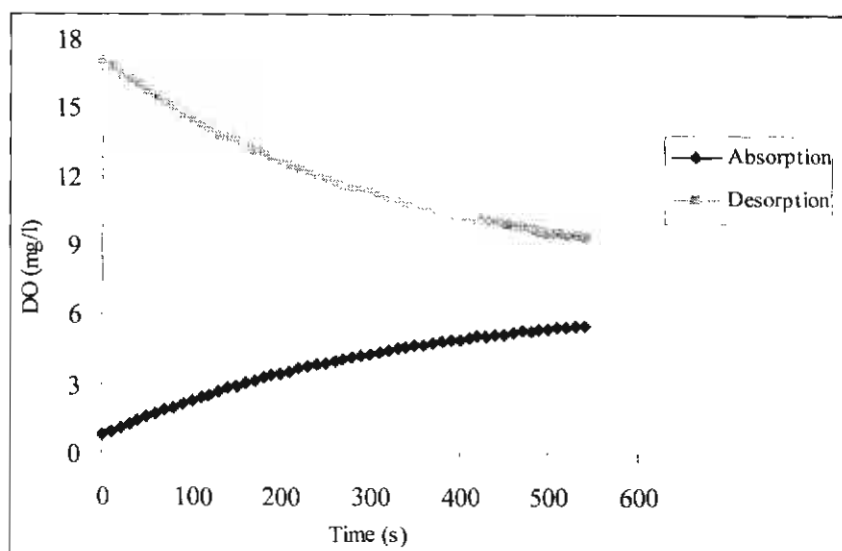
4.6 การทดสอบเครื่องเติมอากาศในห้องปฏิบัติการ

ศูนย์วิจัยฯ ได้ทำการทดสอบการวัดประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศแบบ diffuser ในห้องปฏิบัติการ โดยใช้โอ่งแก้วขนาดความจุ 17 ลิตร วัตถุประสงค์ในการทดลองคือ ต้องการตรวจวัดประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศโดยใช้เทคนิคการดูดซับ (absorption) และ คายการดูดซับ (desorption) ตามข้อกำหนดการทดสอบเครื่องเติมอากาศในน้ำสะอาด ด้วยเหตุผลคือต้องการประหยัดค่าใช้จ่ายด้าน

สารเคมีและสามารถควบคุมระบบได้สะดวก ซึ่งผลของการทดสอบได้ผลเป็นที่น่าพอใจและได้เผยแพร่ผลการทดลองในวารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 13 ฉบับที่ 1 พ.ศ. 2546 ดังแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข

หลักการสำคัญในการวัดการถ่ายเทออกซิเจนในน้ำสะอาดแบ่งเป็น 2 วิธี คือ เทคนิคการดูดซับ เป็นเทคนิคที่เริ่มต้นจากการกำจัดออกซิเจนที่ละลายในน้ำจนค่าออกซิเจนละลายเข้าใกล้ศูนย์ เมื่อเติมอากาศให้ละลายกลับลงในน้ำและวัดอัตราการเพิ่มขึ้นของออกซิเจนกับเวลา และเทคนิคที่ 2 คือ เทคนิคการคายการดูดซับ เป็นเทคนิคที่มีการเพิ่มออกซิเจนละลายจนเกินจุดอิ่มตัวที่ความดันบรรยากาศ การเพิ่มขึ้นของออกซิเจนละลายสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การเป่าออกซิเจนลงในน้ำ หรือการใช้สารเคมี เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จากนั้นเปิดเครื่องเติมอากาศและวัดอัตราการลดลงของออกซิเจนกับเวลา จากผลการทดสอบเมื่อนำค่าการเปลี่ยนแปลงออกซิเจนกับเวลาทั้งสองกรณีมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ จะได้กราฟแสดงผลการทดสอบตามรูปที่ 4.9 ซึ่งผลการทดสอบในน้ำสะอาดโดยใช้เครื่องเติมอากาศชนิดหัวแพร่กระจายให้ผลที่สอดคล้องกันทั้งสองเทคนิค

การเติมอากาศโดยใช้เทคนิคการดูดซับเป็นวิธีที่นิยมมากกว่าการทดสอบแบบคายการดูดซับ ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวเฉพาะรายละเอียดของการทดสอบเครื่องเติมอากาศโดยใช้เทคนิคการดูดซับเป็นหลัก เนื่องจากค่าใช้จ่ายในเทคนิคนี้จะถูกกว่า โดยเฉพาะเมื่อต้องทดสอบกับเครื่องเติมอากาศที่มีขนาดใหญ่



รูปที่ 4.9 แสดงค่าออกซิเจนละลาย (DO) กับเวลาที่ทดลองโดยเทคนิคการดูดซับและเทคนิค การคายการดูดซับ

การทดสอบเครื่องเติมอากาศโดยการกำจัดออกซิเจนละลายก่อนการเติมอากาศนี้ มีวิธีการกำจัดออกซิเจนละลายให้ลดลงใกล้ศูนย์ที่แตกต่างกัน 2 วิธี คือ การใช้สารเคมีและการใช้ก๊าซ เช่น ไนโตรเจน

เป่าไล่ออกซิเจนให้หนีออกจากน้ำ ในปัจจุบันพบว่าเทคนิคการใช้สารเคมีกำจัดออกซิเจน เช่น โซเดียมซัลไฟท์ (Na_2SO_3) เป็นที่ยอมรับของมาตรฐานการทดสอบมากกว่าการใช้ไนโตรเจนเป่าไล่ออกซิเจน เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการทดสอบที่ต่ำกว่า

หลังจากที่กำจัดออกซิเจนละลายให้ลดลงใกล้ศูนย์ แล้วเริ่มให้อากาศจนออกซิเจนละลายกลับลงไปในน้ำจนถึงจุดอิ่มตัว เมื่อทำการเก็บข้อมูลของออกซิเจนละลายในน้ำที่เวลาต่าง ๆ สามารถนำกลับมาคำนวณหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลตามสมการ

$$C = C_{\infty}^* - (C_{\infty}^* - C_0) \exp(-K_L a t) \quad (4.1)$$

โดย

- C : ความเข้มข้นของออกซิเจนละลาย (มิลลิกรัม/ลิตร)
- C_{∞}^* : ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายที่สภาวะคงตัว (มิลลิกรัม/ลิตร)
- C_0 : ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายที่เวลาเริ่มต้น (มิลลิกรัม/ลิตร)
- $K_L a$: สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลเชิงปริมาตร (ชม⁻¹)
- t : เวลา (ชม.)

อย่างไรก็ตามเนื่องจากการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลเกิดจากการทดลองที่อุณหภูมิ (T) ต่างๆ ดังนั้น เพื่อให้ค่าที่รายงานเป็นค่ามาตรฐาน สามารถปรับค่า $K_L a$ ที่อุณหภูมิใด ๆ เข้าสู่อุณหภูมิมาตรฐาน ซึ่งในที่นี้คือที่ 20°C (ในบางมาตรฐานกำหนดที่ 10°C) ตามสมการ (4.2)

$$K_L a_{20} = K_L a \theta^{(20-T)} \quad (4.2)$$

โดย θ คือ แฟกเตอร์ปรับค่าอุณหภูมิ มีค่าเท่ากับ 1.024

ค่าเฉลี่ยของอัตราการถ่ายเทออกซิเจนมาตรฐาน (standard oxygen transfer rate, SOTR) สามารถคำนวณจากจุดเก็บตัวอย่าง n จุด ตามสมการ (4.3)

$$\text{SOTR} = V \frac{\sum_{i=1}^n K_L a_{20i} C_{\infty 20i}^*}{n} \quad (4.3)$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^n \text{SOTR}_i}{n} \quad (4.4)$$

โดย
$$SOTR_i = K_L a_{20i} C_{\infty 20i}^* V \quad (4.5)$$

$$C_{\infty 20}^* = C_{\infty}^* \left(\frac{1}{\tau \Omega} \right) \quad (4.6)$$

โดย

- τ : แฟกเตอร์ปรับค่าอุณหภูมิ = C_{st}^*/C_{s20}^*
 Ω : แฟกเตอร์ปรับค่าความดัน = P_b/P_s
 C_{st}^* : ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายที่ผิวน้ำที่อุณหภูมิทดสอบ
 ความดัน 1 บรรยากาศ 100% ความชื้น
 C_{s20}^* : ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายที่ผิวน้ำที่อุณหภูมิ 20°C
 ความดัน 1 บรรยากาศ 100 % ความชื้น
 P_b : ความดันสมบูรณ์ของสถานที่ทดสอบ
 P_s : ความดันสมบูรณ์มาตรฐาน 1 บรรยากาศ
 V : ปริมาตรน้ำทดสอบ

การหาประสิทธิภาพการเติมอากาศมาตรฐาน (standard aeration efficiency, SAE) หาตามสมการ

$$SAE = SOTR/\text{Power Input} \quad (4.7)$$

ประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจน (oxygen transfer efficiency, OTE)

$$SOTE = SOTR/W_{O_2} \quad (4.8)$$

- โดย W_{O_2} = อัตราการไหลเชิงมวลของออกซิเจน ($W_{O_2} = 0.2765 Q_s$)
 Q_s = อัตราการไหลเชิงปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน

การคำนวณกำลังส่งรวม (total delivered power) และกำลังไฟฟ้าที่จ่ายรวม พิจารณา ดังนี้ กำลังส่งรวม ได้แก่ ผลรวมของกำลังส่งจากพัดลม (delivered blower power) เทอร์ไบน์ (delivered turbine power) และปั๊ม (delivered pump power) เครื่องเติมอากาศโดยทั่วไปอาจใช้กำลังส่งแตกต่างกัน เช่น

surface aerator มีเพียงกำลังส่งจากเทอร์ไบน์ ขณะที่ submerged turbine ต้องมีกำลังส่งจากพัดลมและเทอร์ไบน์ รายละเอียดของการคำนวณกำลังส่งของอุปกรณ์แต่ละชนิด แสดงได้ดังนี้

ก กำลังส่งของพัดลม หมายถึง กำลังที่ต้องการตามทฤษฎีสำหรับการพัดอากาศที่อัตราการไหลเชิงมวลและความดันขาออกตามกำหนด สามารถคำนวณโดยสมมติให้ การกดอัด (compression) ของอากาศเป็นลักษณะของอะเดียบาติก (adiabatic compression) ดังนี้

$$\text{Delivered blower power} = \frac{W_f RT_1}{K} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^k - 1 \right] \quad (4.9)$$

โดย

W_f : อัตราการไหลเชิงน้ำหนัก (weight flow rate) ของก๊าซ

R : ค่าคงที่ของก๊าซ

T_1 : อุณหภูมิสมบูรณ์ก่อนการอัด

P_1 : ความดันสมบูรณ์ก่อนการอัด

P_2 : ความดันสมบูรณ์หลังการอัด

k : อัตราส่วน C_p/C_v

K : $(k-1)/k$ เป็นเทอมไร้หน่วยมีค่าเท่ากับ 0.283 สำหรับอากาศ

ข กำลังส่งของเทอร์ไบน์ หมายถึง กำลังที่ถูกถ่ายเทโดยเทอร์ไบน์ สามารถคำนวณได้ โดยใช้ พารามิเตอร์ที่สัมพันธ์กัน โดยตรงกับการวัดแรงบิด (torque) และความเร็วเชิงมุม (angular velocity) ดังนี้

$$\text{Delivered turbine power} = 2\pi T_q N_r \quad (4.10)$$

โดย

T_q : แรงบิด อาจวัดโดยใช้ cradled dynamometer หรือ surface strain dynamometer (นิวตัน-เมตร)

N_r : ความเร็วรอบการหมุน (รอบ/วินาที)

ในการหา กำลังส่งของเทอร์ไบน์ อาจใช้การคำนวณได้ถ้าทราบประสิทธิภาพของมอเตอร์และคุณสมบัติของเหลว โดยคำนวณจาก wire power คูณด้วยประสิทธิภาพของเทอร์ไบน์

ค กำลังส่งของปั๊ม หมายถึงกำลังที่ถูกถ่ายเทโดยปั๊ม สามารถคำนวณได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชิงปริมาตร ความหนาแน่นของของไหล และ total dynamic head ดังนี้

$$\text{Delivered pump power} = Q_w(TDH)(W) \quad (4.11)$$

โดย

Q_w : อัตราการไหลของของไหล (ลูกบาศก์เมตร/วินาที)

TDH : total dynamic head (เมตร)

W : น้ำหนักจำเพาะของน้ำที่อุณหภูมิทดสอบ (นิวตัน/ลูกบาศก์เมตร)

เช่นกัน ในการหากำลังส่งของปั๊มอาจใช้การคำนวณจาก wire power คูณด้วยประสิทธิภาพของปั๊ม

ง กำลังไฟฟ้าที่จ่ายรวม (Total Wire Power)

โดยทั่วไปกำลังไฟฟ้าที่ใช้โดยมอเตอร์ (Wire Power) มีความสัมพันธ์กับกำลังส่งดังนี้

$$\text{Wire power} = \frac{\text{Delivered Power}}{e_a e_b e_c \dots} \quad (4.12)$$

โดย

e_a, e_b, e_c คือ ประสิทธิภาพของการส่ง เช่น มอเตอร์ เฟืองทดรอบ พัดลม เป็นต้น และกำลังไฟฟ้าที่จ่ายรวม คือ ผลรวมของกำลังไฟฟ้าที่ใช้โดยมอเตอร์ ของอุปกรณ์ส่งถ่ายทุกตัว

$$\text{Total wire power} = \text{wire power}_{\text{blower}} + \text{wire power}_{\text{turbine}} + \text{wire power}_{\text{pump}} \quad (4.13)$$

การวัด wire power ควรใช้วัตต์มิเตอร์ หรือ อาจใช้การวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้า ถ้าทราบค่า power factor และคำนวณได้โดย

$$\text{Wire power} = 2.319 \times 10^{-3} EIF \quad (\text{แรงม้า}) \quad (4.14)$$

โดย

E : ความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)

I : กระแสไฟ (แอมแปร์)

F : power factor (ไร้หน่วย)

ค่าของ C_∞^* นั้น สามารถหาค่าได้จากการทดลองในน้ำสะอาด หรืออาจหาค่าได้จากการทำสมการถดถอยแบบไม่เชิงเส้น ถ้ามีข้อมูลของ C กับ t ดังนั้น ค่า $K_L a$ ในที่นี้ จึงเป็นเพียงค่า $K_L a$ ปรากฏ เนื่องจากการหาค่าความเข้มข้นที่จุดอิ่มตัว มีใช้ค่าที่ถูกต้อง ส่วนการหาค่าที่ถูกต้องตามความเข้มข้นอิ่มตัวทางฝั่งก๊าซเฟส จะได้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลจริง (true volumetric mass transfer coefficient) ซึ่งมีนักวิจัยบางท่านได้สรุปว่าการใช้ C_∞^* ดีกว่า $C_{\infty, true}^*$ คือ C_∞^* ไม่ขึ้นกับอัตราการถ่ายเท และ C_∞^* สามารถตรวจได้ง่ายกว่า

ค่า C_∞^* สามารถประมาณจากความเข้มข้นอิ่มตัวที่ผิว (surface saturation concentration, C_{ST}^*) และ ความลึกที่จุดอิ่มตัว (effective saturation depth, d_e) ตามสมการ

$$C_\infty^* = C_{ST}^* \left(\frac{P_b - P_{vt} + r_w d_e}{P_s - P_{vt}} \right) \quad (4.15)$$

โดย C_{ST}^* : DO ที่ผิวที่อิ่มตัวตามตารางที่อุณหภูมิ T , ความดัน 1 atm และ 100%
ความชื้น

P_s : ความดันรวมมาตรฐาน (1 atm, 100% ความชื้นสัมพัทธ์)

P_b : ความดันบรรยากาศ

P_{vt} : ความดันไออิ่มตัวของน้ำที่อุณหภูมิ T

r_w : ความเข้มข้นเชิงมวลของน้ำที่อุณหภูมิ T

ค่า d_e แสดงถึงความลึกของน้ำภายใต้ความดันรวม (hydrostatic head บวกความดันบรรยากาศ) ที่ทำให้เกิดความเข้มข้น C_∞^* สำหรับน้ำที่สัมผัสกับอากาศอิ่มตัว 100%

ในการทดสอบเครื่องเติมอากาศในน้ำสะอาด ในแต่ละมาตรฐานมีค่าสภาวะมาตรฐานไม่เท่ากัน ดังนั้น ในรายงานผลการทดสอบควรมีการระบุถึงสภาวะมาตรฐานที่อ้างถึง ตามที่ได้กล่าวแล้วว่าในการทดสอบในน้ำสะอาดเป็นเพียงข้อมูล เบื้องต้น ของการเลือกเครื่องเติมอากาศ ซึ่งในการใช้งานจริง ควรศึกษาถึงการทดสอบโดยใช้น้ำกระบวนการ ซึ่งจะทำให้ผลที่ใกล้เคียงกับการใช้งานจริงมากที่สุด

ภายใต้สภาวะการทดสอบของน้ำสะอาดและน้ำกระบวนการ ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า $K_L a$ คือ คุณสมบัติของน้ำ อุณหภูมิ ความดัน และค่าการละลายอิ่มตัว พารามิเตอร์เหล่านี้จะแสดงในเทอมของ แอลฟา (alpha, α) เบต้า (beta, β) โดยพารามิเตอร์ทั้งสองนี้จะแสดงเป็นค่าสัดส่วนระหว่างการทดสอบในน้ำกระบวนการและการทดสอบในน้ำสะอาด โดยแอลฟาและเบต้าแฟคเตอร์ นิยาม ดังนี้

$$\alpha = \frac{K_L a_f}{K_L a} \quad (4.16)$$

$$\beta = \frac{C_{\infty f}^*}{C_{\infty}^*} \quad (4.17)$$

ตัวห้อย f คือ ค่าที่แสดงผลในการทดสอบโดยใช้น้ำกระบวนการ และค่า β สามารถเขียนในเทอมของค่าอิมิตัวในตารางแสดงค่าการละลายของออกซิเจนอิมิตัวได้ เนื่องจากให้ค่าที่เป็นไปในทิศทางเดียวกับที่วัดค่าได้

$$\text{โดย } \beta = \frac{C_{\infty f}^*}{C_{\infty}^*} = \frac{C_{ST}^*}{C_S^*} \quad (4.18)$$

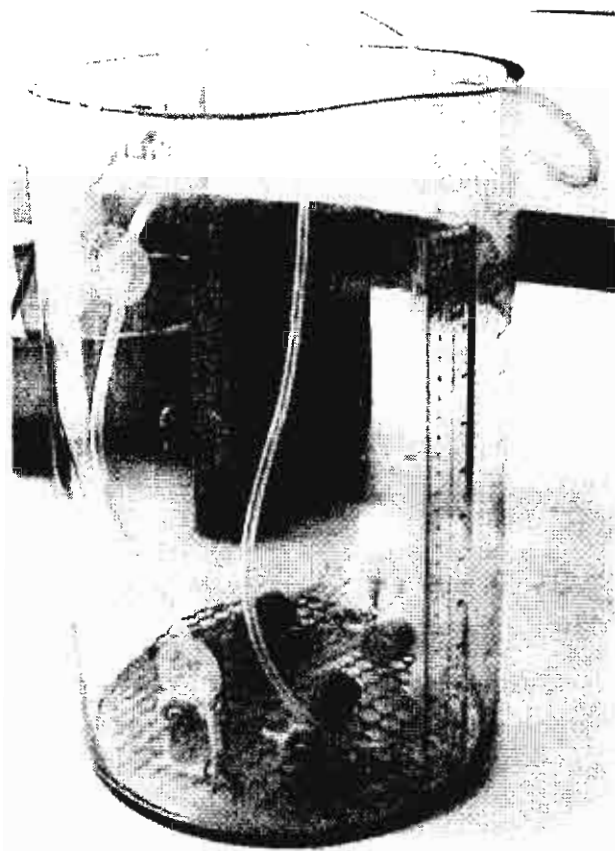
โดย ตัวห้อย s คือ ค่าการละลายอิมิตัวที่ผิว (surface saturation values)

ค่าแอลฟาแฟกเตอร์โดยทั่วไปมีค่าในช่วง 0.2 ถึง มากกว่า 1.0 ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่ขึ้นกับสถานะของกระบวนการ ได้แก่ สารลดแรงตึงผิว ความปั่นป่วน กำลังงานต่อปริมาตร ลักษณะของถัง สัดส่วนระหว่างขนาดของเครื่องเติมอากาศและบ่อทดสอบ ขนาดของฟองอากาศ และลักษณะของน้ำเสีย การวัดค่าแอลฟาแฟกเตอร์ส่วนใหญ่ใช้การศึกษาในบ่อขนาดเล็ก (ต่ำกว่า 200 ลิตร) ซึ่งผลที่ได้จะเป็นเพียงแนวทางในการประมาณค่ากำลังของเครื่องเติมอากาศในขั้นตอนการออกแบบได้ โดยทั่วไป ค่าแอลฟาแฟกเตอร์จะไม่คงที่ ดังนั้นในการกำหนดค่าเป็นช่วงจะได้รับความนิยมมากกว่าค่าเฉลี่ย

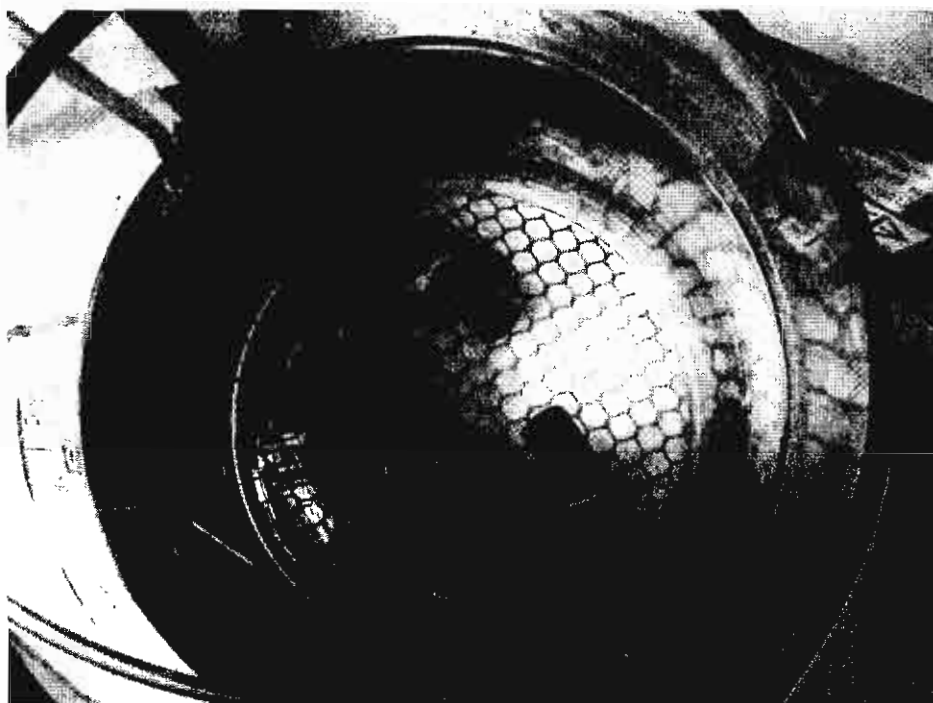
เบต้าแฟกเตอร์ เป็นค่าที่แปรผันในช่วง 0.8-1.0 โดยค่าจะเข้าใกล้ 1.0 กรณีน้ำเสียชุมชน เนื่องจากไม่สามารถวัดค่าอิมิตัวโดยใช้หัวอ่านค่า และเนื่องจากน้ำเสียส่วนใหญ่จะมีสารปนเปื้อน ทำให้การวัดค่าทำได้ยาก ดังนั้น ในบางครั้งจะพบว่าค่าเบต้าแปรผันตามค่าของแข็งละลายในน้ำกระบวนการ

เนื่องจากการทดสอบนี้ใช้น้ำสะอาดเป็นตัวกลาง แอลฟาแฟกเตอร์และเบต้าแฟกเตอร์จึงเท่ากับหนึ่ง และการคำนวณหาค่า $K_L a$ ตามสมการ (4.1) นั้นใช้เทคนิค log-deficit (ซึ่งเป็นการทำ curve fitting แบบ linear regression โดยการใส่ค่า log ในสมการ (4.1) อย่างไรก็ตามคณะวิจัยได้ศึกษาต่อมาพบว่า การทำ curve fitting แบบ non-linear regression จะให้ผลที่น่าเชื่อถือกว่า ดังนั้นในการทดสอบในระยะเวลาต่อมาจึงใช้การวิเคราะห์โดยเทคนิค non-linear regression เป็นหลัก ซึ่งผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบนี้จะขอล่าวถึงในภายหลัง)

รูปที่ 4.10-4.12 เป็นรูปแสดงโลแก๊วที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 4.10 โดแก้วที่ใช้ในการทดสอบเครื่องเติมอากาศในห้องปฏิบัติการ

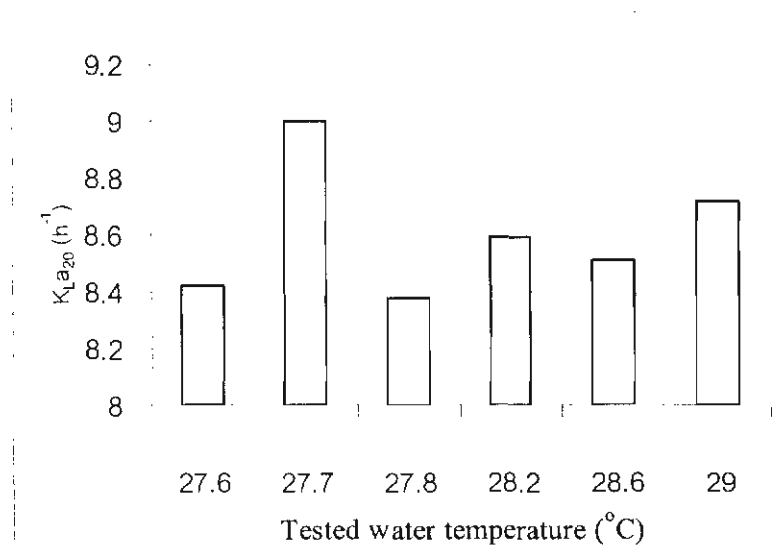


รูปที่ 4.11 ภาพด้านบนของโดแก้ว



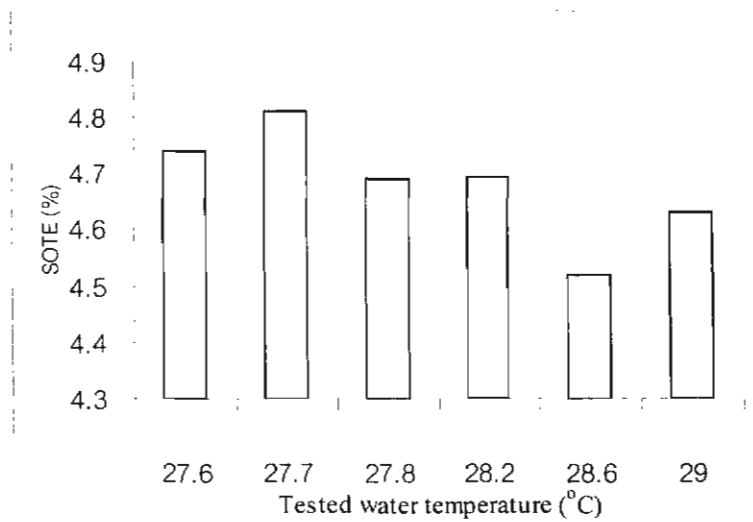
รูปที่ 4.12 ภาพโถแกว่งขณะพ่นฟองอากาศ

ผลการหาค่า $K_L a_{20}$ ในน้ำสะอาดโดยเทคนิคการดูดซับแสดงตามรูปที่ 4.13 ที่ระดับความสูงน้ำ 0.30 เมตร มีค่าอยู่ระหว่าง 8.3 ถึง 9.0 h^{-1} โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.60 h^{-1} .



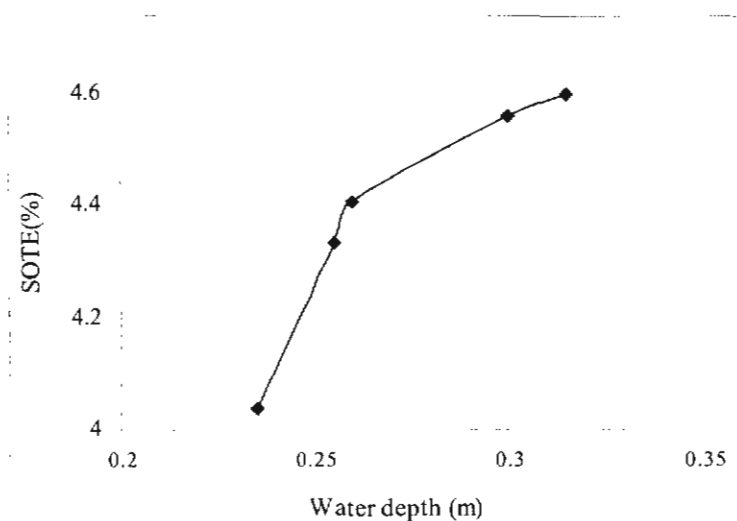
รูปที่ 4.13 ค่า $K_L a_{20}$ ในน้ำสะอาดโดยเทคนิคการดูดซับในห้องปฏิบัติการ

ผลของค่า SOTE แสดงตามรูปที่ 4.14 โดยมีค่าระหว่าง 4.52-4.81% ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำ เนื่องจากระดับความสูงของน้ำตามการทดลองต่ำ



รูปที่ 4.14 SOTE ที่คำนวณได้จากการทดสอบเครื่องเติมอากาศในน้ำสะอาดในห้องปฏิบัติการ

รูปที่ 4.15 เป็นการทดลองวัดประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนโดยใช้เทคนิคการดูดซับแทนเทคนิคการคายการดูดซับ ที่ระดับน้ำ 0.24, 0.26, 0.27, 0.30 และ 0.32 เมตร พบว่า ค่า SOTE มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น อาจเนื่องจากฟองอากาศมีเวลาในการสัมผัสกับน้ำได้นานขึ้น อย่างไรก็ตามรูปที่ 4.15 นั้นแสดงให้เห็นเพียงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของ SOTE เท่านั้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ ตามการทดลองนี้ยังต่ำเกินกว่าจะนำข้อมูลมาวิเคราะห์



รูปที่ 4.15 SOTE ที่คำนวณได้จากการทดสอบเครื่องเติมอากาศในน้ำสะอาดในห้องปฏิบัติการ

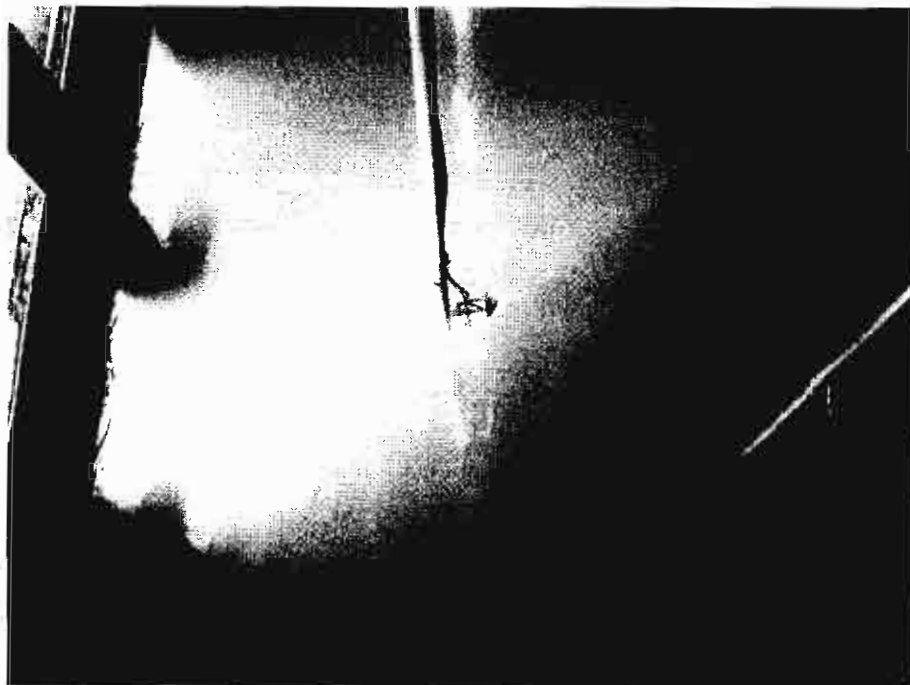
จากรูปที่ 4.15 ค่า SOTE ที่ระดับความสูงน้ำ 0.3 เมตร ให้ค่าเท่ากับ 4.56% ซึ่งให้ค่าอยู่ในช่วงเดียวกับรูปที่ 4.14 คือ 4.52-4.81% พบว่า การวัดค่า SOTE จากเทคนิคที่แตกต่างกันคือทั้ง เทคนิคการดูดซับและการคายการดูดซับให้ผลที่อยู่ในช่วงเดียวกัน

4.7 การทดสอบเครื่องเติมอากาศในถังทดสอบ

ศูนย์วิจัยฯ ได้ทำการทดสอบการวัดประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศในถังทดสอบทั้ง 2 ใบ โดยวัตถุประสงค์คือการเตรียมความพร้อมในการรับตรวจวัดประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศในน้ำสะอาด ตามข้อกำหนดในการทดสอบของศูนย์วิจัยฯ ซึ่งเป็นเทคนิคการดูดซับที่ใช้สารละลายโซเดียมซัลไฟท์ในการลดค่าออกซิเจนละลายให้เป็นศูนย์ก่อนที่จะเติมอากาศ เครื่องเติมอากาศที่เลือกใช้คือเครื่องเติมอากาศแบบ diffuser แสดงตามรูปที่ 4.16



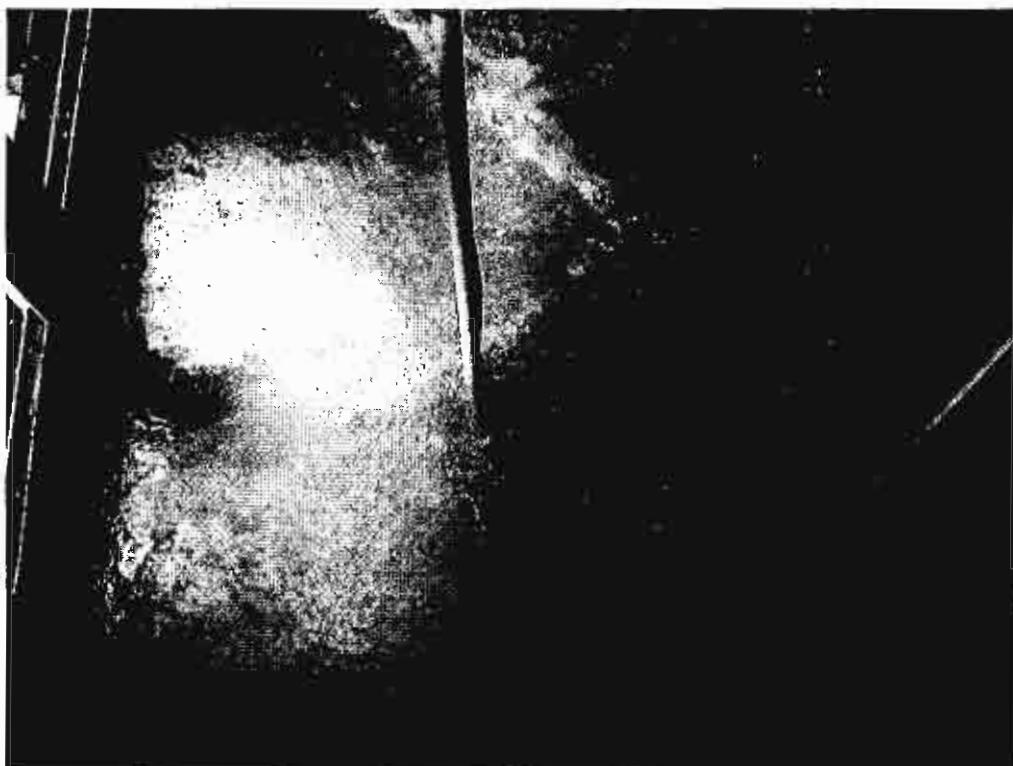
รูปที่ 4.16 การติดตั้ง diffuser จำนวน 8 หัวที่ถังทดสอบ 1.5x2x5 เมตร



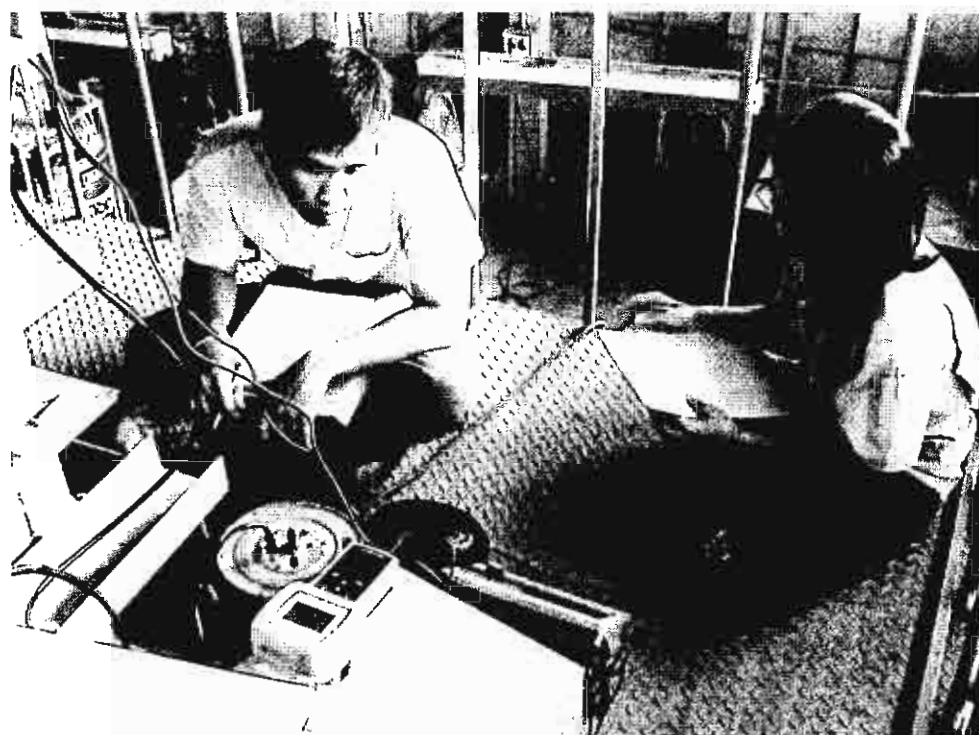
รูปที่ 4.17 การติดตั้งหัวอ่านออกซิเจนละลายที่ถังทดสอบ 1.5x2x5 เมตร



รูปที่ 4.18 การติดตั้งเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อวัดค่าออกซิเจนละลายที่ถังทดสอบ 1.5x2x5 เมตร



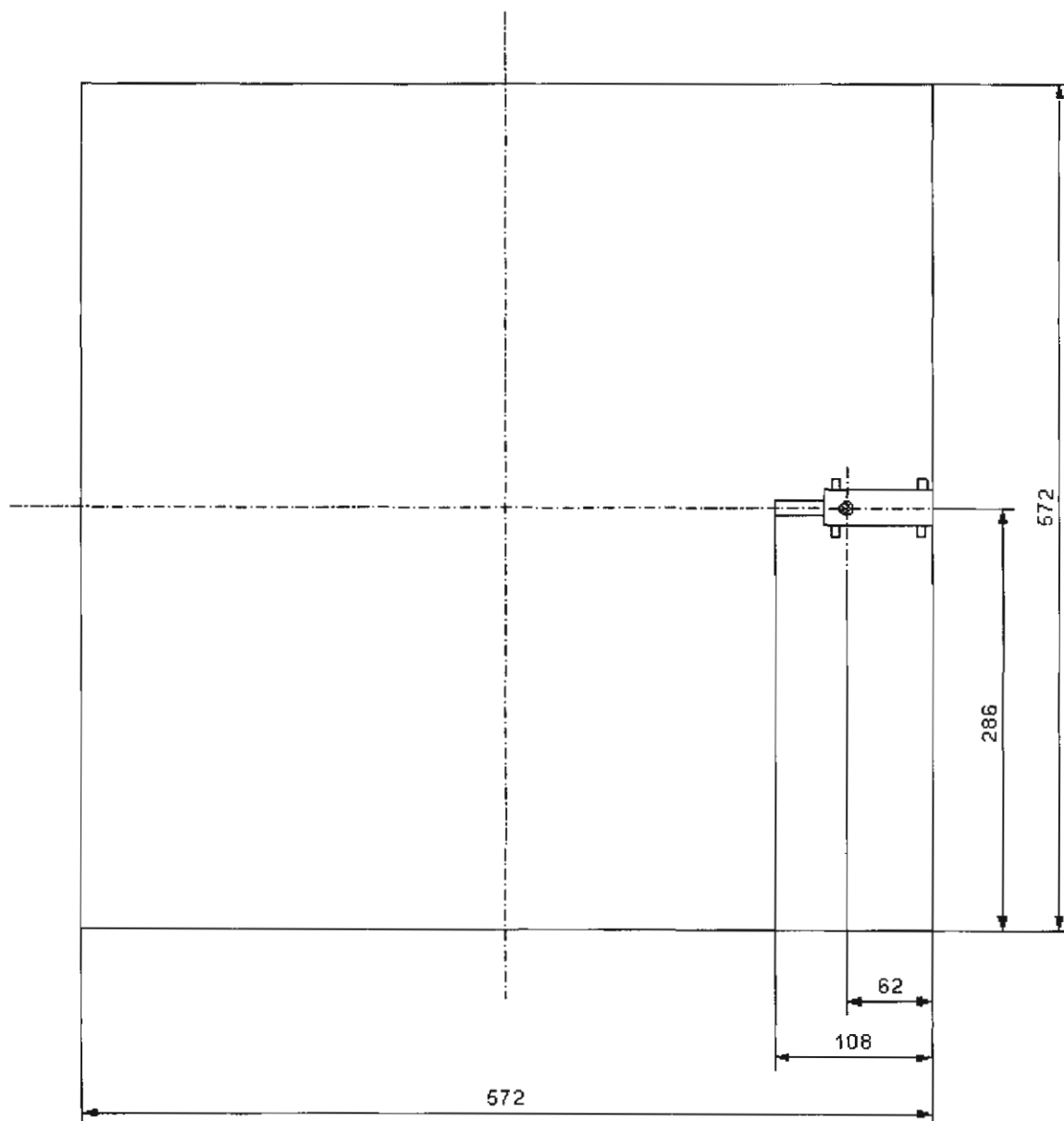
รูปที่ 4.19 พื้นผิวน้ำภายในถังทดสอบที่ติดตั้ง diffuser



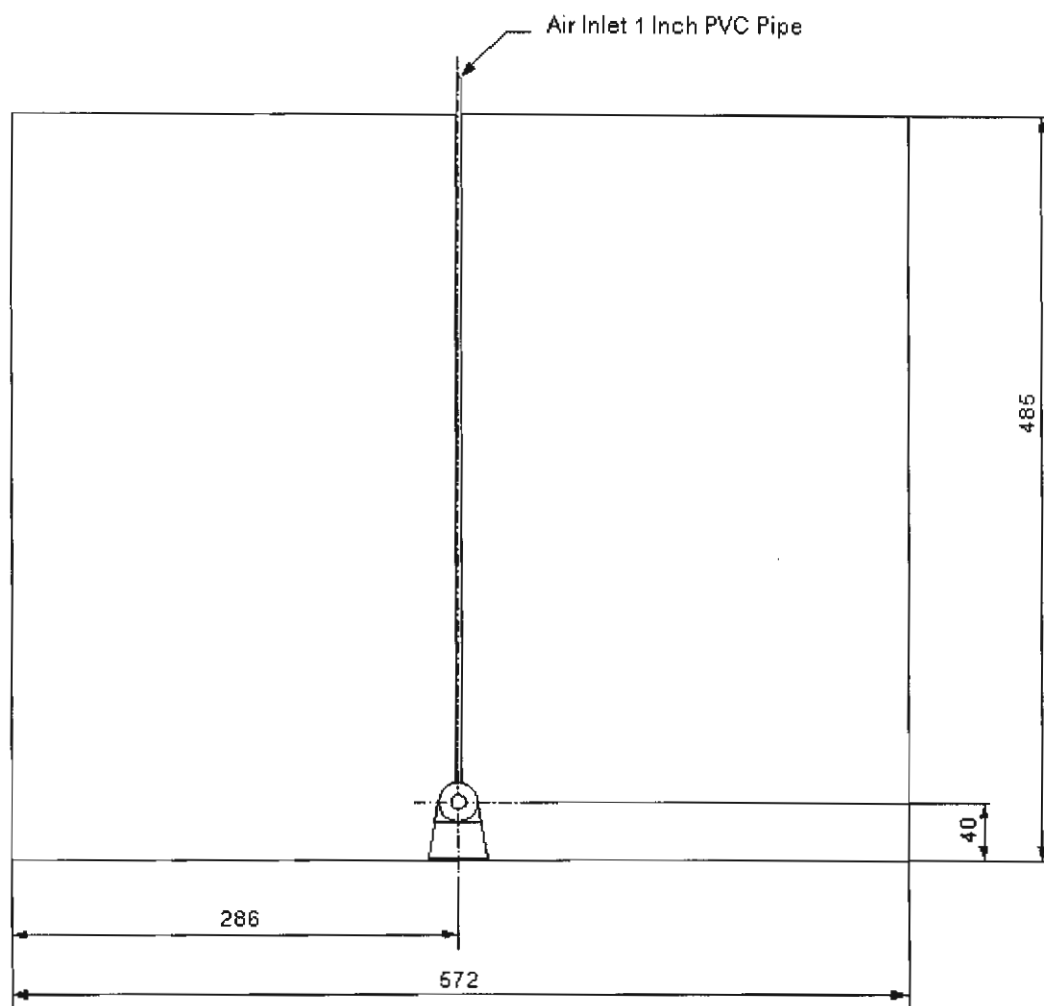
รูปที่ 4.20 การเก็บข้อมูลเหนือถังทดสอบ

4.8 การศึกษาไฮโดรไดนามิกส์ในถังทดสอบ

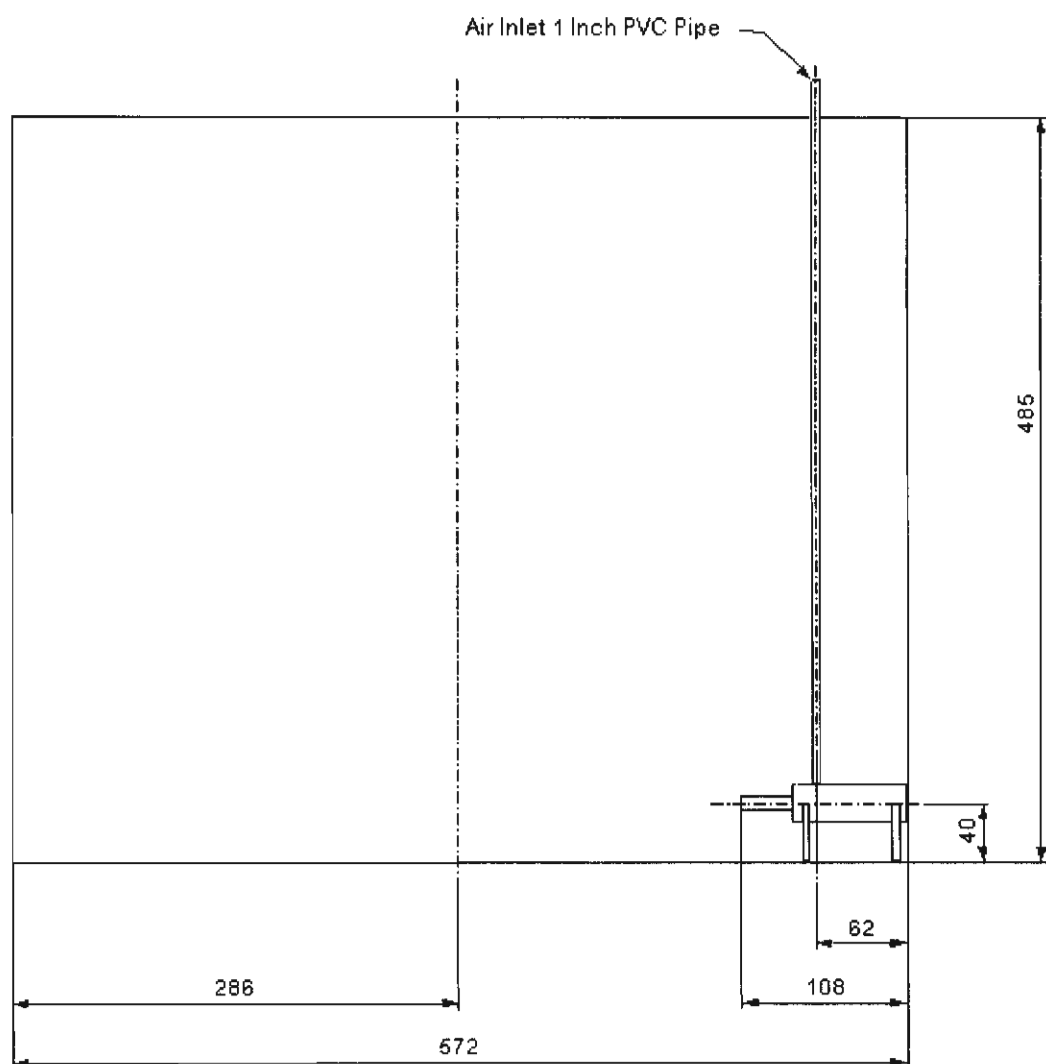
ศูนย์วิจัยฯ ได้ทำการทดสอบการวัดความเร็วน้ำในบ่อเติมอากาศขนาด 6x6x5 เมตร โดยการติดตั้งเครื่องเติมอากาศแบบเวนทูลี (venturi) ขนาด 1 แรงม้า แสดงขนาดและการติดตั้งตามรูปที่ 4.21 ถึงรูปที่ 4.23 และการทำงานตามรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.21 ภาพด้านบนการติดตั้งเครื่องเติมอากาศในบ่อทดสอบ(ความลึกน้ำ 3 เมตร)

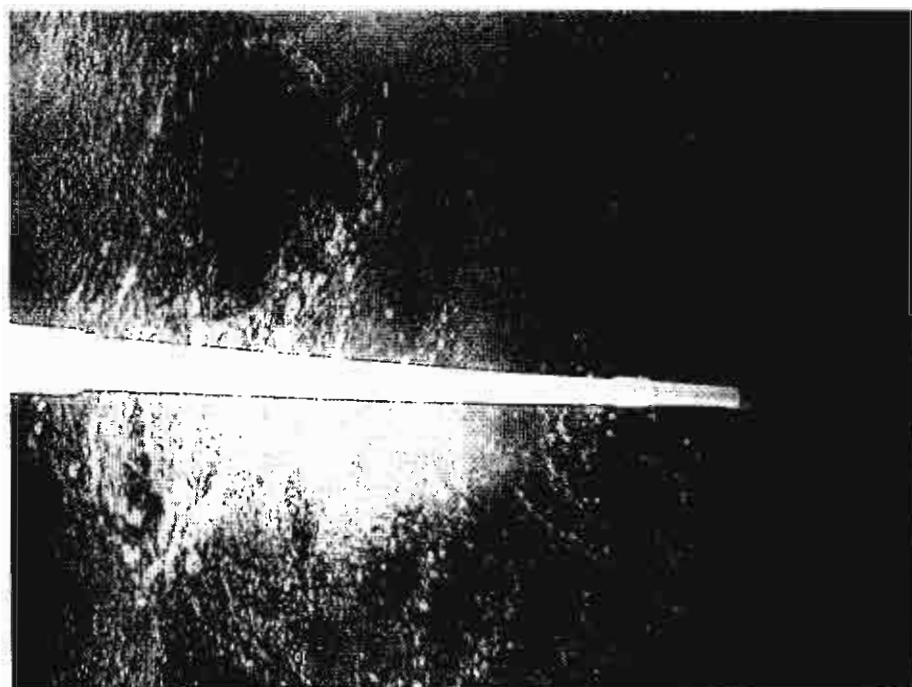


รูปที่ 4.22 ภาพด้านข้างการติดตั้งเครื่องเติมอากาศในบ่อทดสอบ(ความลึกน้ำ 3 เมตร)



รูปที่ 4.23 ภาพด้านหน้าการติดตั้งเครื่องเดิมอากาศในบ่อทดสอบ(ความลึกน้ำ 3 เมตร)

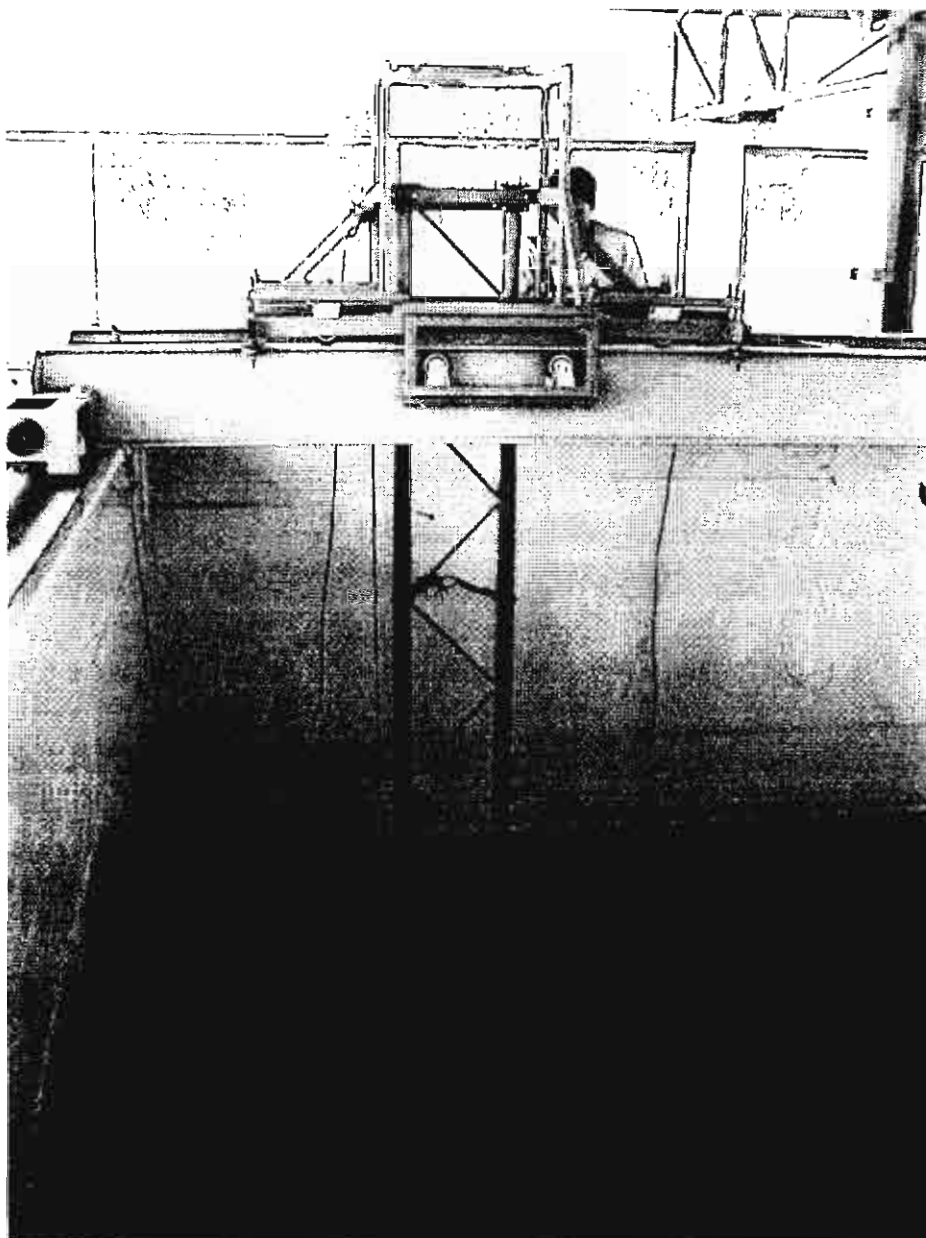
ในการตรวจวัดความเร็วน้ำจะใช้เครื่องวัดความเร็วน้ำ ศูนย์วิจัยได้จัดทำรางเลื่อนขึ้นมา 1 ชุด เพื่อใช้จับยึด sensor ให้สามารถเลื่อนไปยังตำแหน่งต่างๆของบ่อทดสอบ โดยรางเลื่อนแสดงตามรูปที่ 4.25 เป็นรางเลื่อนที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการจับยึด truss ยาว 6 เมตร(โดยประมาณ) แสดงตามรูปที่ 4.26 และหัววัดความเร็วน้ำจะถูกติดตั้งที่ปลาย truss แสดงตามรูปที่ 4.27 (เป็นการติดตั้งบนแกน x-y)



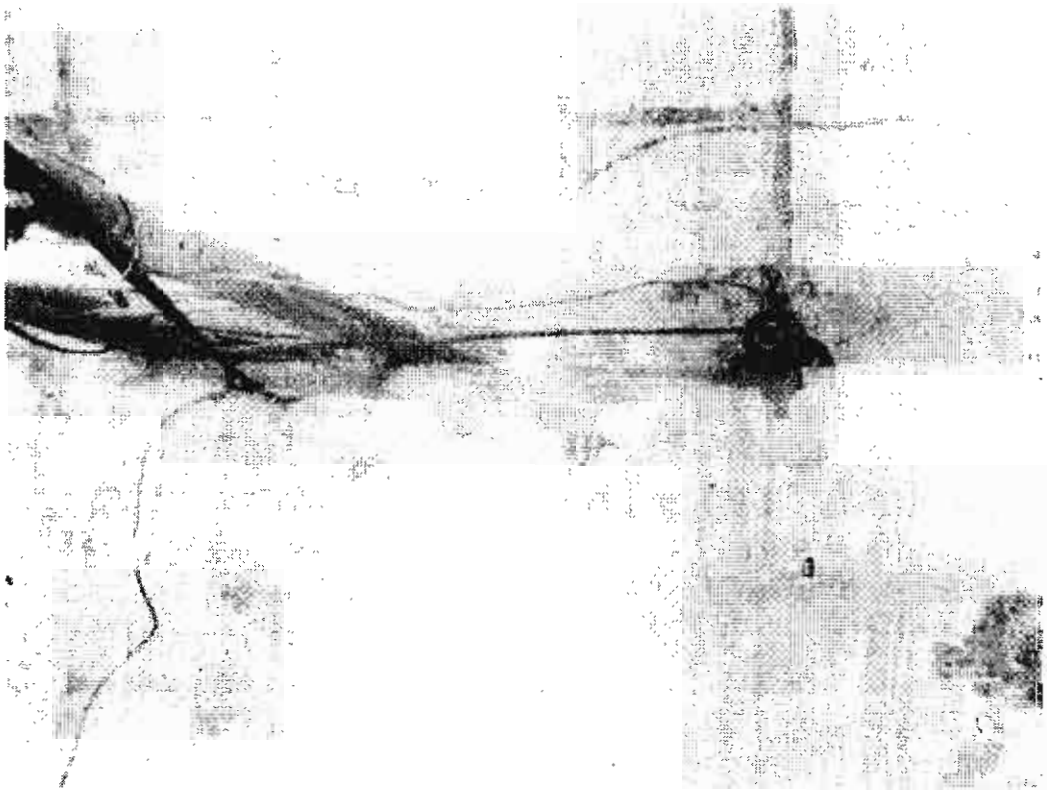
รูปที่ 4.24 เครื่องเดิมอากาศในขณะทำงาน



รูปที่ 4.25 เคนตัวล่างที่ใช้ติดตั้งอุปกรณ์หัววัดความเร็วน้ำ

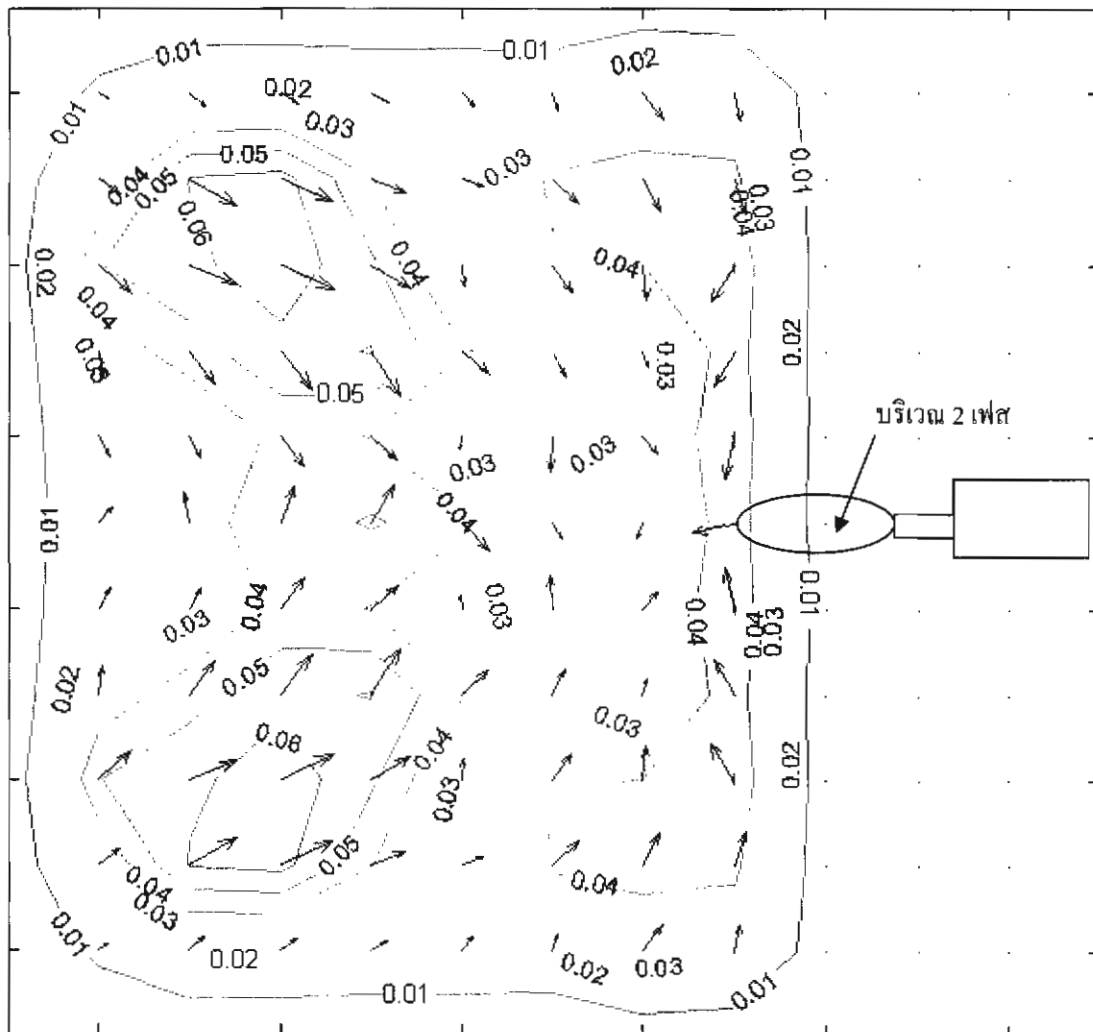


รูปที่ 4.26 การติดตั้ง truss กับแกนตัวถังเพื่อใช้ติดตั้งอุปกรณ์หัววัดความเร็วน้ำ



รูปที่ 4.27 หัววัดความเร็วน้ำที่ติดตั้งกับ truss (ในรูปเป็นการติดตั้งหัววัดในแนวตั้ง
ใช้วัดความเร็วน้ำในแกน x-y)

ผลการวัดความเร็วน้ำบนแกน x-y แสดงตามรูปที่ 4.28 ถึง รูปที่ 4.32 ที่ระดับความสูง 0.58, 1.08, 1.58, 2.08 และ 2.58 จากกันบ่อ ตามลำดับ



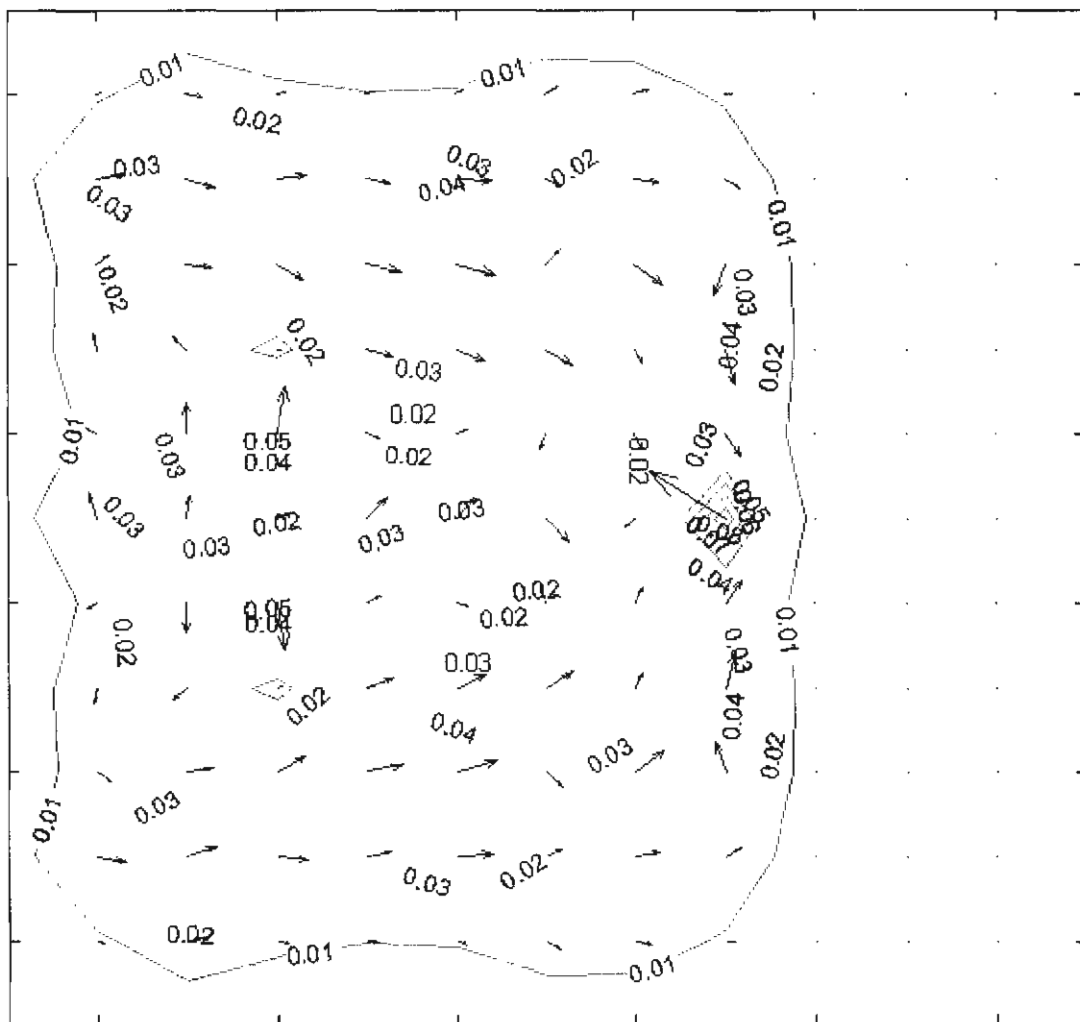
รูปที่ 4.28 ความเร็วบนแกน x-y ที่ระดับความสูงน้ำ 0.58 เมตรจากกันบ่อ(น้ำลึก 3.0 เมตร)

จากการสังเกตพบว่าบริเวณ 2 เฟสจะเกิดขึ้นห่างจากปลายทางออกของเครื่องเดิมอากาศในบริเวณ 1 เมตร (ดูภาพ 4.24 ประกอบ) ฟองอากาศที่เกิดขึ้นได้น้ำเป็นฟองอากาศขนาดเล็กและรวมตัวเป็นฟองอากาศขนาดใหญ่เคลื่อนที่จากได้นำลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ บริเวณ 2 เฟส เป็นส่วนที่สังเกตพบว่ามีกระแสน้ำที่ของกระแสน้ำสูงสุด

จากรูปที่ 4.28 ความเร็วน้ำบริเวณปลาย 2 เฟส ยังคงให้ทิศทางไปตามทิศการไหลจากปลายเครื่องเดิมอากาศ เนื่องจากน้ำยังคงมีโมเมนตัมหลังจากไหลออกจากปลายเครื่องเดิมอากาศ ที่จุดตรวจวัดอื่น พบว่า น้ำมีทิศการไหลเข้าหาเครื่องเดิมอากาศ ทั้งนี้อาจเกิดจากบริเวณ 2 เฟส นั้นมีการเคลื่อนที่ขึ้น

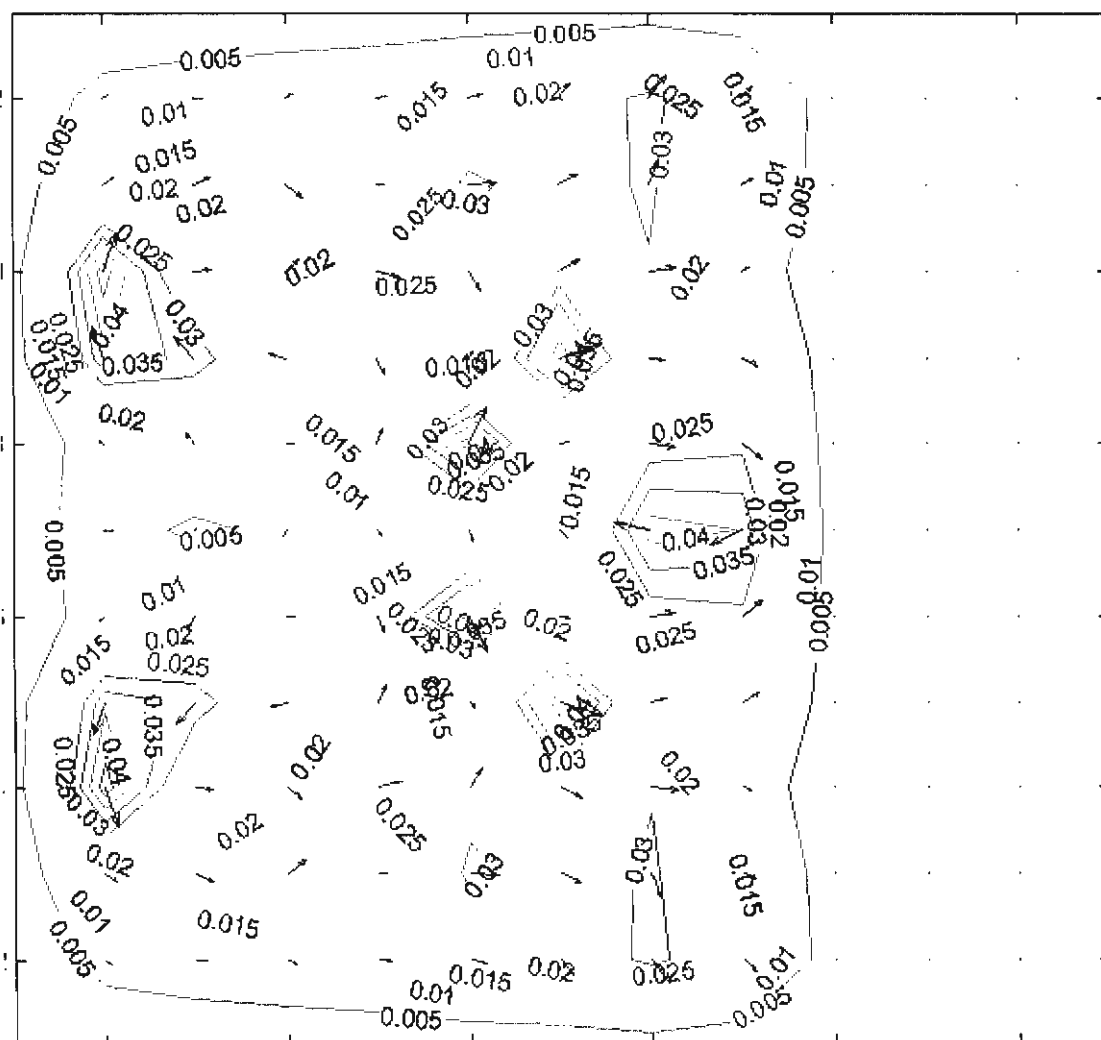
ของฟองอากาศ ทำให้น้ำที่อยู่ด้านหลังบริเวณ 2 เฟส เกิดการไหลเข้าไปแทนที่ จึงส่งผลให้เกิดทิศทางการไหลของน้ำไหลในทิศเข้าหาบริเวณ 2 เฟส

รูปที่ 4.29 ที่ความสูง 1.08 เมตร พบว่าน้ำจะเคลื่อนที่สวนทางในแนวนานกับแกน x โดยความเร็วในแนวแกน x มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเทียบกับที่ระดับความสูงน้ำ 0.58 เมตร เนื่องจากบริเวณความสูงน้ำที่ต่ำกว่าอาจได้รับแรงเสียดทานจากพื้น

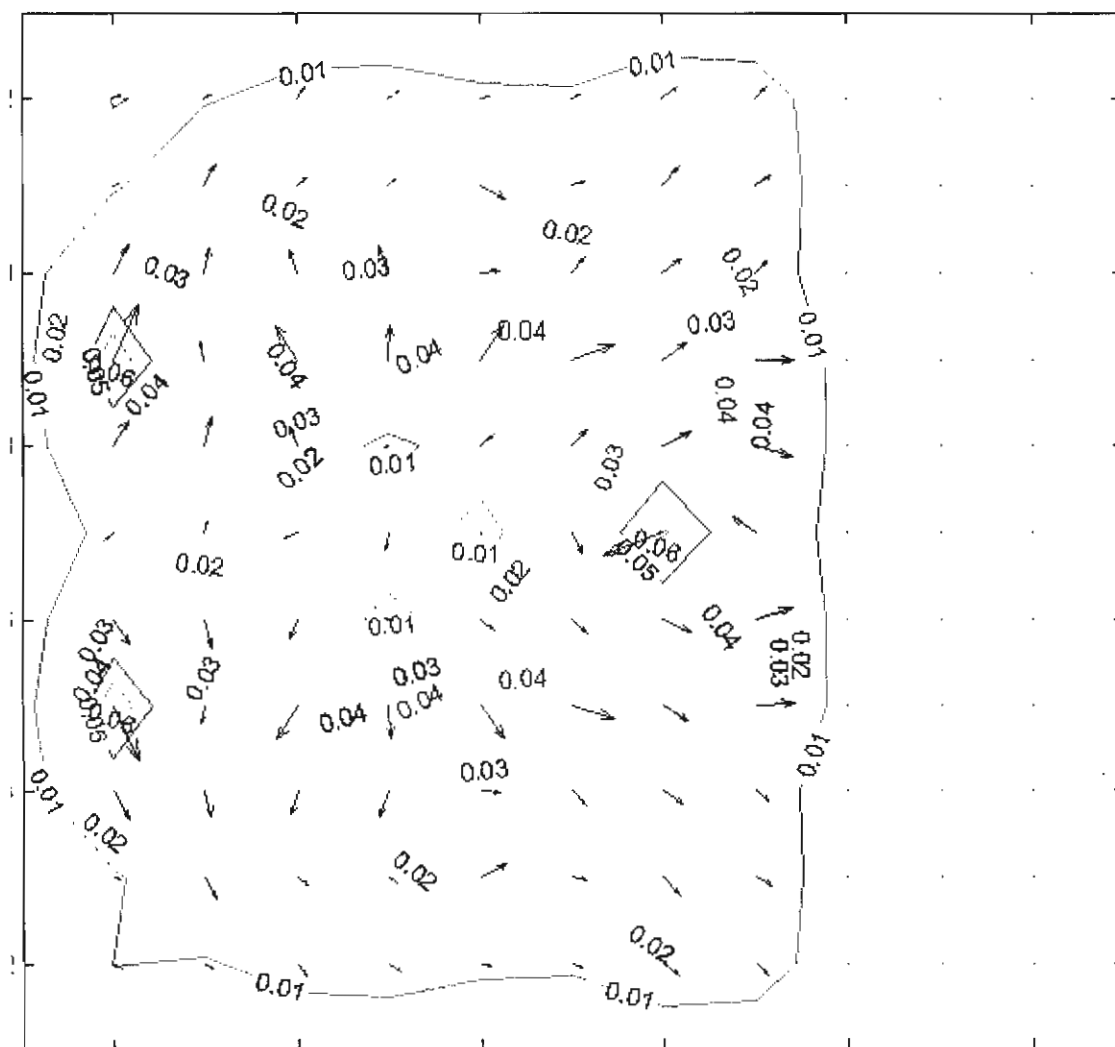


รูปที่ 4.29 ความเร็วบนแกน x-y ที่ระดับความสูงน้ำ 1.08 เมตรจากก้นบ่อ(น้ำลึก 3.0 เมตร)

รูปที่ 4.30 ที่ความสูง 1.58 เมตร พบว่าน้ำจะเคลื่อนที่สวนทางในแนวนานกับแกน x โดยความเร็วในแนวแกน x มีค่าลดลง เมื่อเทียบกับที่ระดับความสูงน้ำ 0.58 และ 1.08 เมตร โดยเฉพาะบริเวณกึ่งกลางบ่อ พบว่าความเร็วตามแกน x-y ลดลงมากและยังมีทิศการไหลที่ไม่สม่ำเสมอ

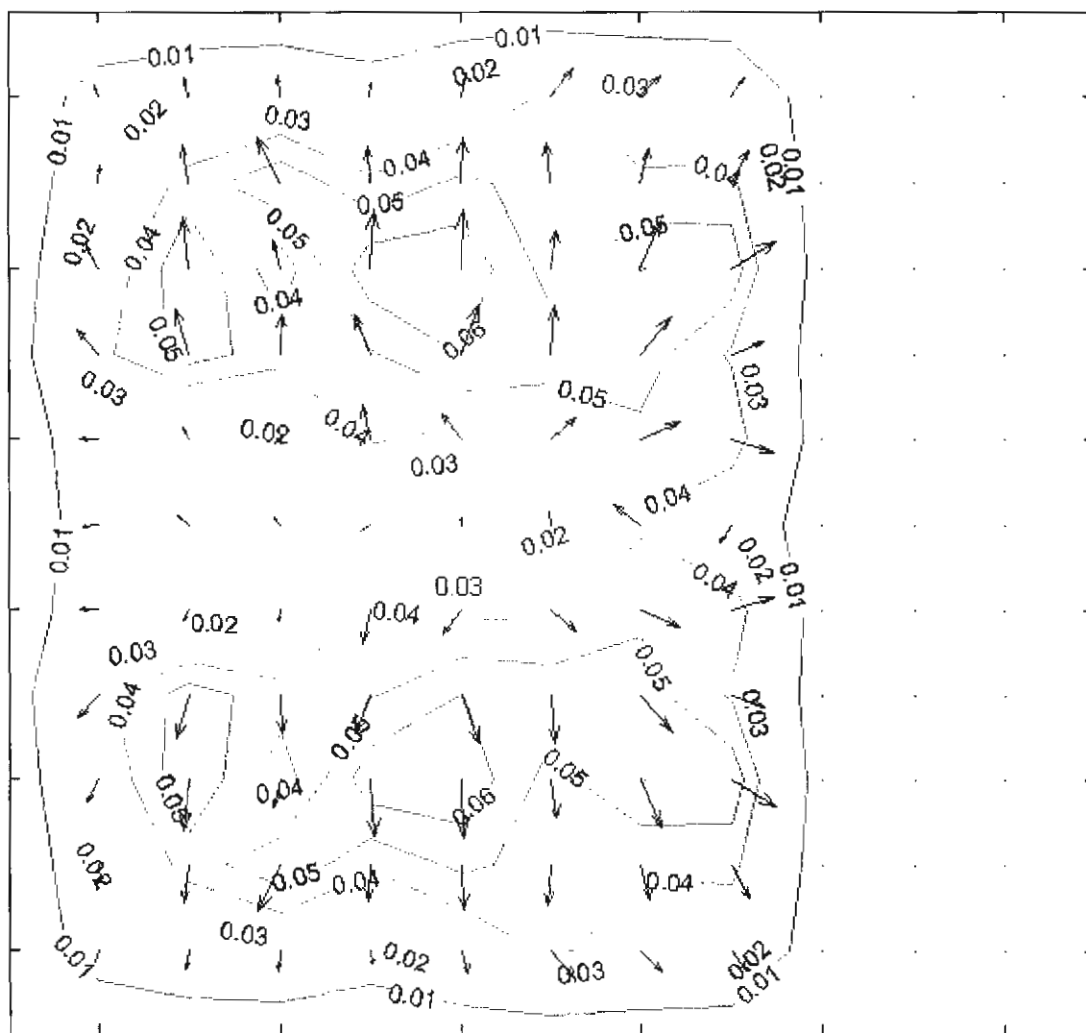


รูปที่ 4.31 ที่ความสูง 2.08 เมตร พบว่าน้ำจะเคลื่อนที่สวนทางในแนวขนานกับแกน x แต่มีทิศทางไหลเข้าผนังซึ่งต่างจากรูปที่ 4.28 ซึ่งน้ำมีทิศไหลเข้าบริเวณ 2 เฟส โดยความเร็วในแนวแกน x มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับที่ระดับความสูงน้ำ 1.58 เมตร แต่บริเวณกึ่งกลางบ่อ พบว่าความเร็วตามแกน x-y ที่มีทิศการไหลที่ไม่สม่ำเสมอ



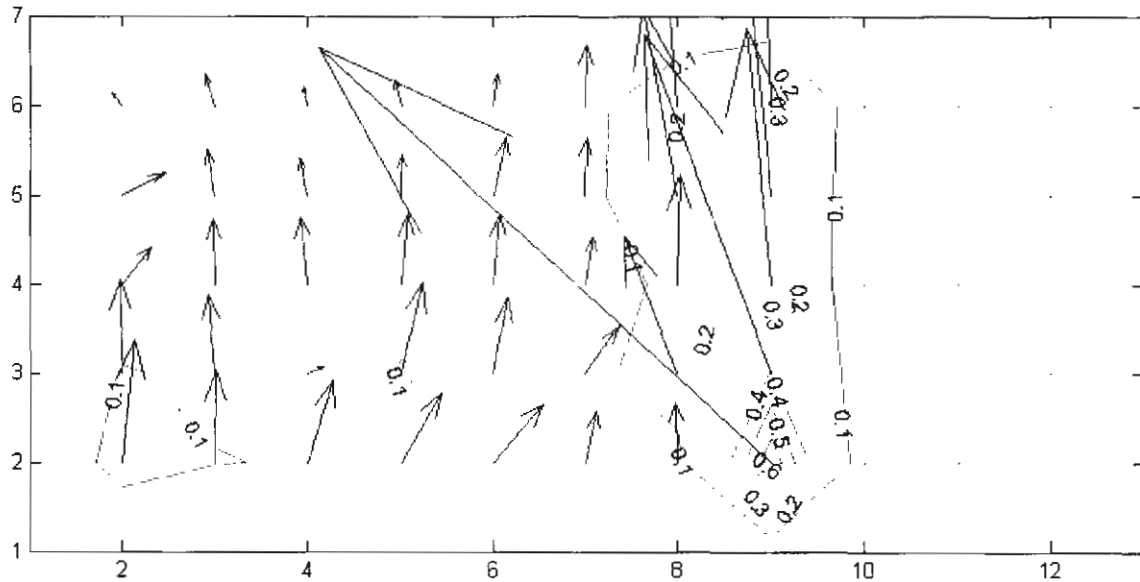
รูปที่ 4.31 ความเร็วบนแกน x-y ที่ระดับความสูงน้ำ 2.08 เมตรจากก้นบ่อ(น้ำลึก 3.0 เมตร)

รูปที่ 4.32 ที่ความสูง 2.58 เมตร พบว่าน้ำส่วนใหญ่จะเคลื่อนที่เข้าผนังและบางส่วนจะไหลสวนทางในแนวนานกับแกน x โดยความเร็วในแนวแกน x บริเวณใกล้ 2 เฟส มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับที่ระดับความสูงน้ำ 2.08 เมตร และบริเวณกึ่งกลางบ่อ ยังพบว่าความเร็วตามแกน x-y ที่มีทิศการไหลที่ไม่สม่ำเสมอ

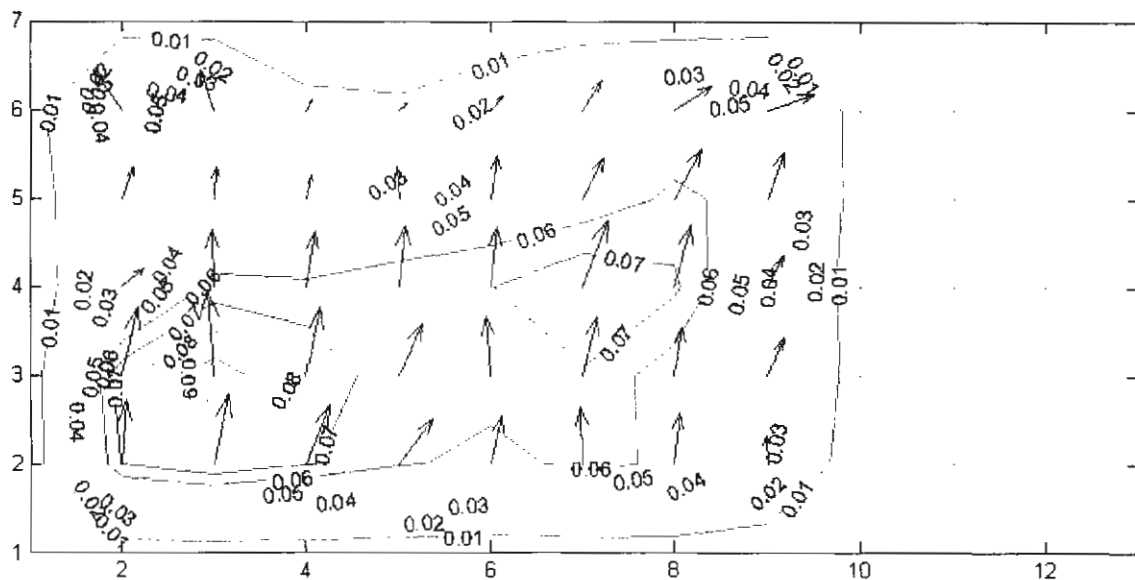


รูปที่ 4.32 ความเร็วบนแกน x-y ที่ระดับความสูงน้ำ 2.58 เมตรจากก้นบ่อ(น้ำลึก 3.0 เมตร)

ผลจากการวัดความเร็วตามแกน x-z แสดงตามรูปที่ 4.33 ถึง รูปที่ 4.38 ที่จุดแกนกลางบ่อ, ห่างจากแกนกลาง(เครื่องเติมอากาศ) 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 เมตร ตามลำดับ

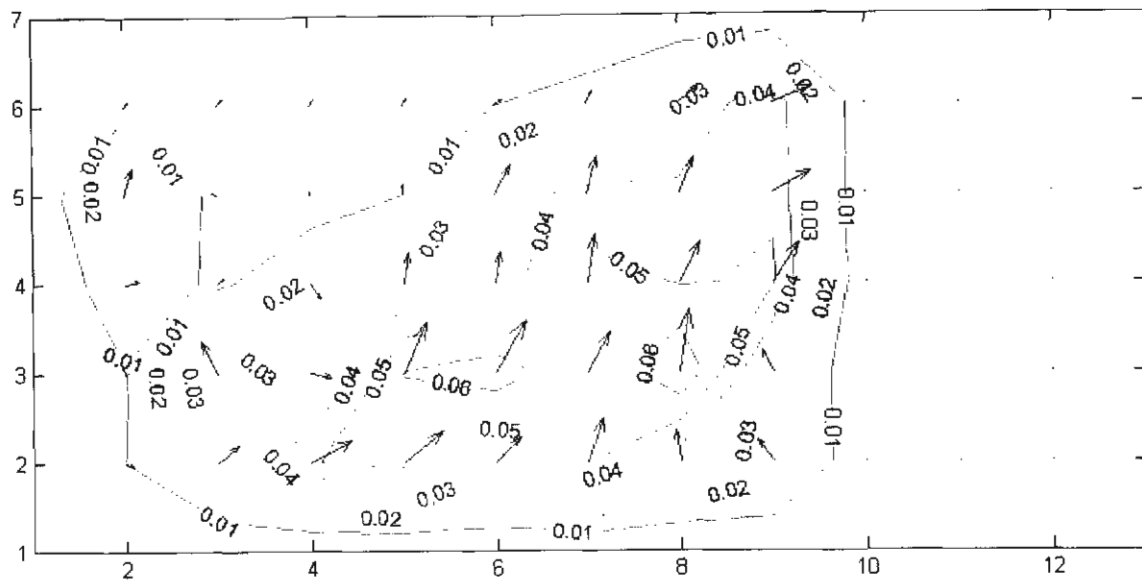


รูปที่ 4.33 ความเร็วบนแกน x-z ที่จุดกึ่งกลางบ่อ(น้ำลึก 3.0 เมตร)

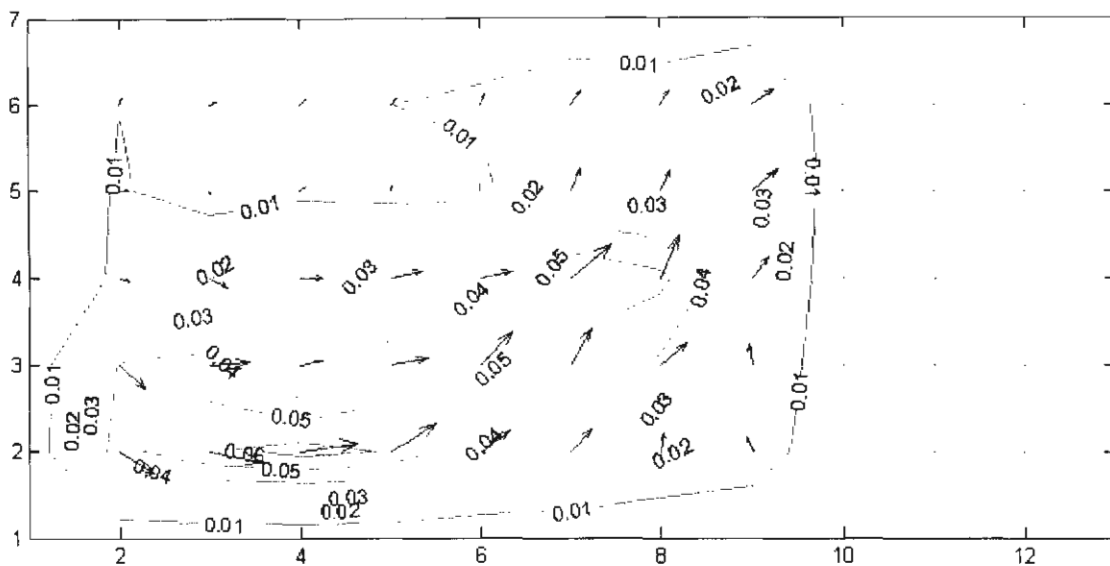


รูปที่ 4.34 ความเร็วบนแกน x-z ที่ห่างจากจุดกึ่งกลางบ่อ 0.5 เมตร(น้ำลึก 3.0 เมตร)

รูปที่ 4.33 และ รูปที่ 4.34 พบว่าความเร็วน้ำมีทิศพุ่งขึ้นสู่ผิวน้ำ โดยความเร็วที่ปลาย 2 เฟสมีค่าสูงมาก เนื่องจากบริเวณนี้จะเป็นจุดเปลี่ยนทิศทางการไหลของน้ำและฟองอากาศ

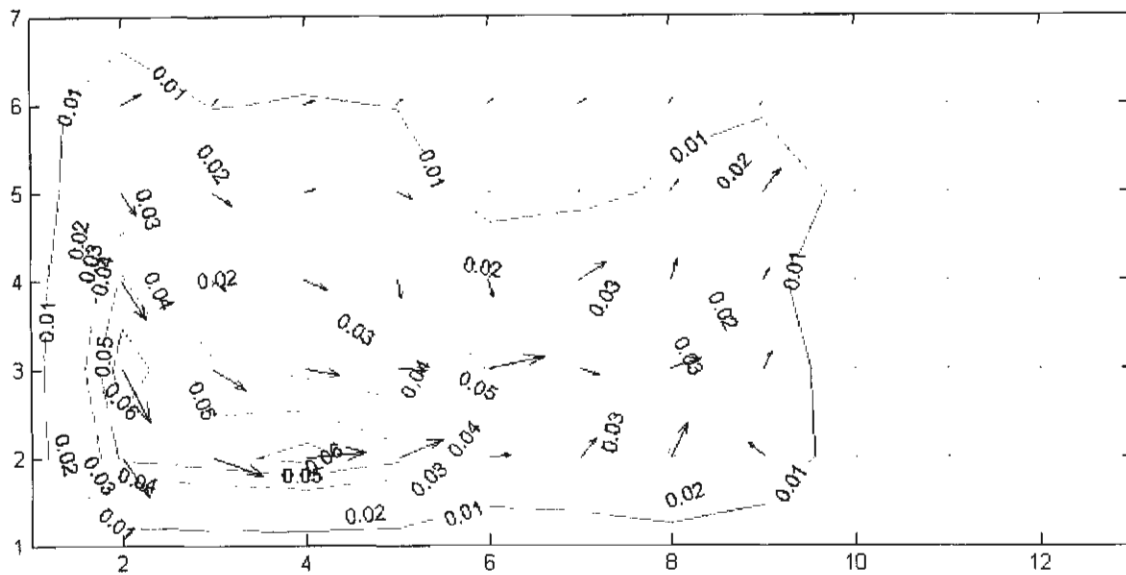


รูปที่ 4.35 ความเร็วบนแกน x-z ที่ห่างจากจุดกึ่งกลางบ่อ 1.0 เมตร(น้ำลึก 3.0 เมตร)

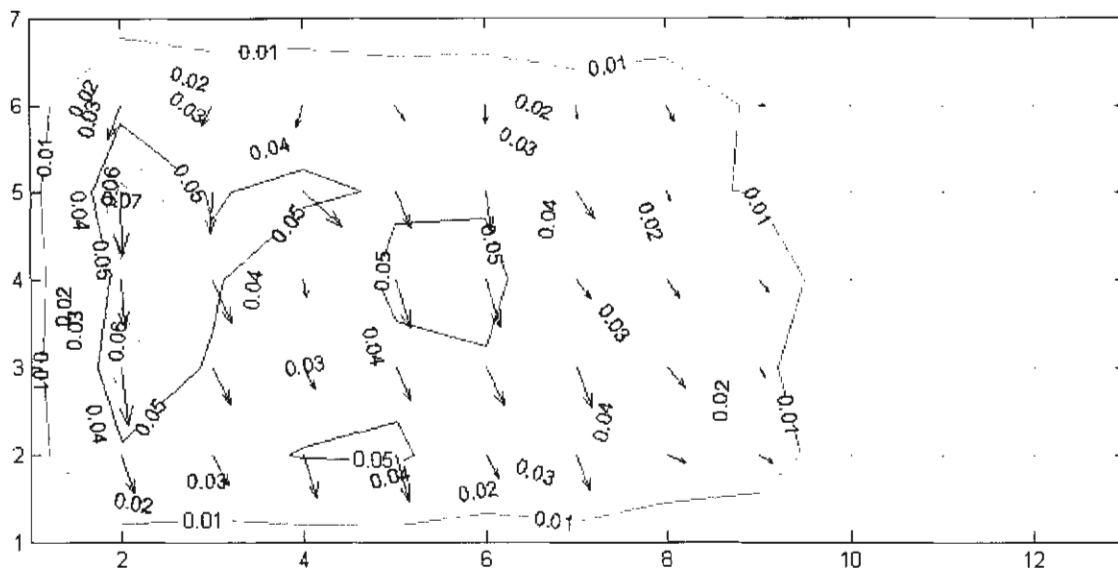


รูปที่ 4.36 ความเร็วบนแกน x-z ที่ห่างจากจุดกึ่งกลางบ่อ 1.5 เมตร(น้ำลึก 3.0 เมตร)

รูปที่ 4.35 และรูปที่ 4.36 พบว่าความเร็วน้ำ 3 ส่วน คือ มีทิศพุ่งขึ้นสู่ผิวน้ำในบริเวณใกล้กับ 2 เฟส และมีทิศสวนทางในแนวแกน x ในบริเวณพื้นบ่อถึงประมาณกลางบ่อ และส่วนสุดท้ายเป็นบริเวณที่ความเร็วต่ำ ซึ่งอยู่ใกล้ผิวน้ำและห่างจากเครื่องเติมอากาศ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการไหลวนของน้ำบริเวณนี้ทำให้ความเร็วที่ได้ลดลง



รูปที่ 4.37 ความเร็วบนแกน x-z ที่ห่างจากจุดกึ่งกลางบ่อ 2.0 เมตร(น้ำลึก 3.0 เมตร)



รูปที่ 4.38 ความเร็วบนแกน x-z ที่ห่างจากจุดกึ่งกลางบ่อ 2.5 เมตร(น้ำลึก 3.0 เมตร)

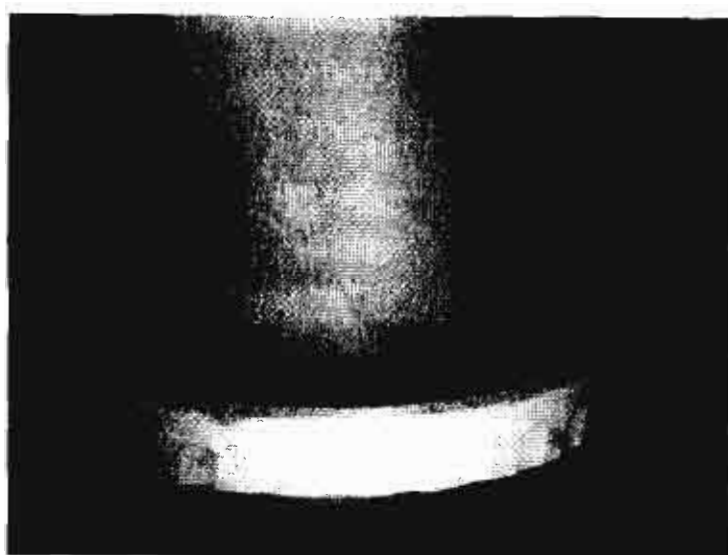
รูปที่ 4.37 พบว่าความเร็วน้ำ 2 ส่วน คือ มีทิศพุ่งขึ้นสู่ผิวหน้าในบริเวณใกล้กับ 2 เฟส และมีทิศสวนทางในแนวแกน x โดยที่ความเร็วใกล้พื้นบ่อจะไหลเร็วกว่าบริเวณที่อยู่ใกล้ผิวหน้า อย่างไรก็ตามในบริเวณใกล้ผิวหน้าพบว่าความเร็วตามแนวแกน x มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับรูปที่ 4.37

รูปที่ 4.38 พบว่าความเร็วน้ำส่วนใหญ่มีทางไหลลงไปสู่ก้นบ่อ และมีแนวโน้มน้ำไหลเข้าสู่บริเวณ 2 เฟส ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการไหลวนของน้ำ

4.9 การถ่ายภาพฟองอากาศ

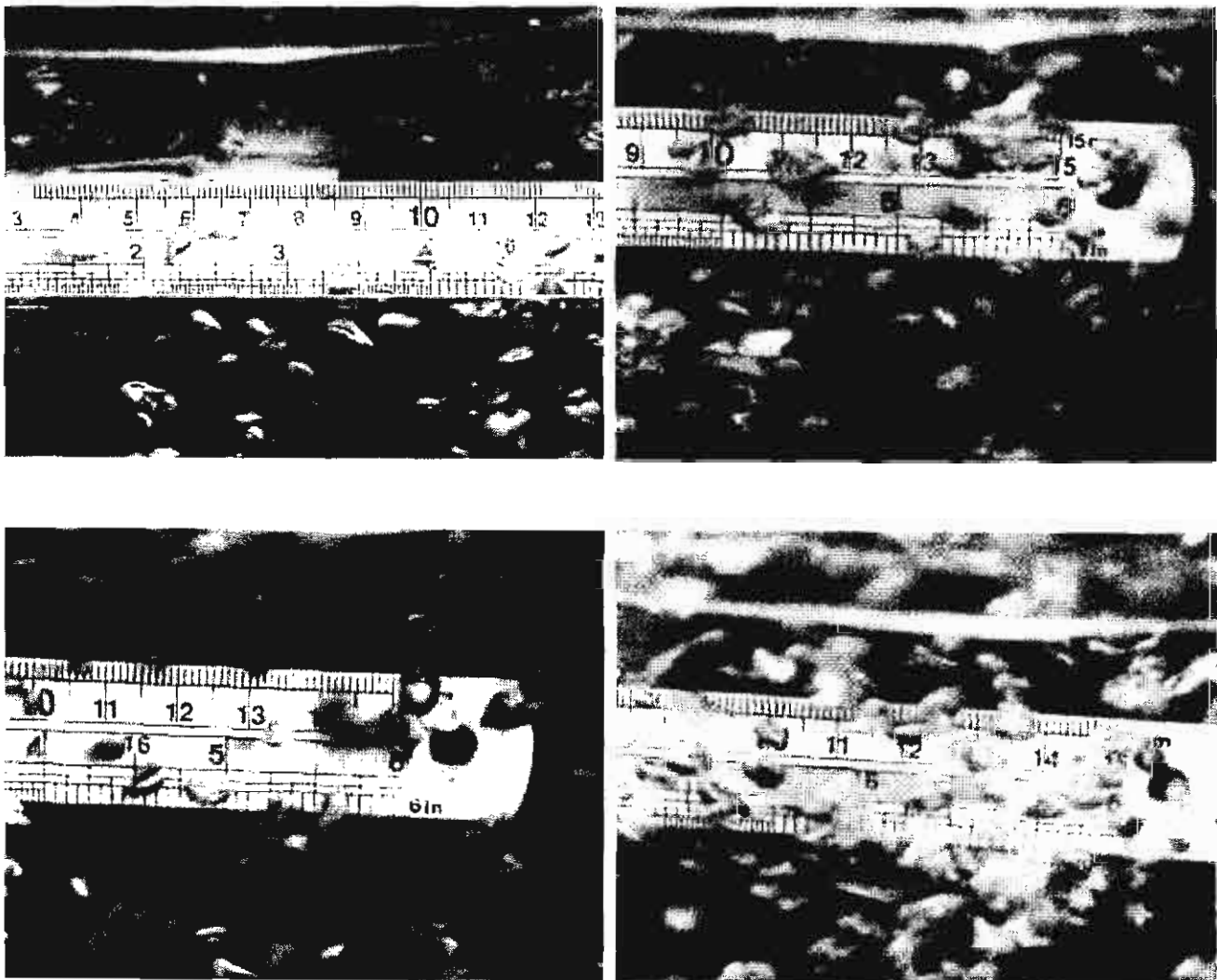
การถ่ายภาพฟองอากาศเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานนั้นสามารถทำได้โดยการใช้กล้องถ่ายภาพจาก หน้ากระจกของถังน้ำและการติดตั้งอุปกรณ์ได้น้ำ ศูนย์วิจัยฯ ได้ออกแบบและสร้างถังน้ำขนาด 1.5x2x5 เมตร ที่มีการติดช่องกระจกเพื่อการถ่ายภาพ โดยการถ่ายภาพได้น้ำมีประโยชน์อย่างมากในการศึกษาถึง พฤติกรรมการทำงานของเครื่องเติมอากาศให้แน่ใจว่าได้ทำงานถูกต้องตามการออกแบบ อีกทั้งการศึกษา การถ่ายภาพขนาดฟองอากาศจะเป็นพารามิเตอร์ร่วมตัวหนึ่งในการพัฒนาเครื่องเติมอากาศให้มี ประสิทธิภาพสูงขึ้น อย่างไรก็ตามเทคนิคการถ่ายภาพของศูนย์วิจัยฯ ที่พัฒนาขึ้น ยังคงเป็นงานเริ่มต้นซึ่ง ยังคงมีข้อจำกัดมาก โดยเฉพาะการหาขนาดเฉลี่ยของฟองอากาศ ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นสำคัญ 2 อย่าง คือ การประมวลผลในเชิงปริมาณเนื่องจาก ฟองอากาศที่เกิดขึ้นมีจำนวนมาก หลากขนาดและรูปร่าง จึงทำให้การประมวลผลมีความซับซ้อนและเสียเวลามาก อีกทั้งข้อจำกัดของเครื่องมือ คือ คณะวิจัยประสบ ปัญหาเรื่องกล้องถ่ายภาพความเร็วสูงที่ระยะโฟกัสในช่วงแคบ

รูปที่ 4.39 เป็นเครื่องเติมอากาศแบบ diffuser ที่ถ่ายภาพการทำงานบริเวณหน้ากระจกของถัง ทดสอบเครื่องเติมอากาศของศูนย์วิจัยฯ จะพบว่าฟองอากาศที่ผลิตจาก diffuser จะเคลื่อนที่ในลักษณะ หมุนวน (spiral) ขึ้นสู่ผิวน้ำ การเคลื่อนที่ของฟองอากาศส่งผลให้น้ำบริเวณด้านบนเกิดการไหลขึ้น เช่นกัน



รูปที่ 4.39 ภาพถ่ายเครื่องเติมอากาศ diffuser

รูปที่ 4.40 เป็นภาพฟองอากาศที่ถ่ายจากเครื่องเดิมอากาศแบบ venturi ที่ระดับ 3.5 เมตร(ระดับน้ำสูง 4 เมตร) หรือลึก 0.5 เมตรจากผิวน้ำ พบว่าฟองอากาศไม่เป็นทรงกลมอีกทั้งมีฟองอากาศที่อยู่ในระยะโฟกัสและไม่อยู่ในโฟกัสผสมกัน ทำให้การวิเคราะห์เชิงปริมาณประสบปัญหาดังกล่าวข้างต้น



รูปที่ 4.40 ตัวอย่างฟองอากาศที่ถ่ายภาพบริเวณช่องกระจกที่ระดับความสูง 3.5 เมตร
(ระดับน้ำทดสอบ 4 เมตร)

4.10 การวัดแอลฟาและเบต้าแฟกเตอร์ในห้องปฏิบัติการ

ถึงแม้ว่าการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศในน้ำสะอาดจะให้ข้อมูลที่น่าเชื่อถือ แต่ในทางปฏิบัติแล้วเครื่องเติมอากาศจะถูกใช้งานในน้ำที่คุณสมบัติแตกต่างไปจากน้ำสะอาด ดังนั้นในการประมาณค่าประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศที่ถูกต้องจึงยังคงต้องมีผลการทดลองวัดประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศในน้ำกระบวนการควบคู่กันไป เมื่อสามารถรวบรวมข้อมูลพื้นฐานที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวมระหว่างการทดสอบในน้ำกระบวนการและการทดสอบในน้ำสะอาด หรือ แอลฟาแฟกเตอร์ เมื่อนั้นในการประมาณค่าประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศในสถานะที่ใช้งานจริงย่อมมีความแม่นยำมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้การออกแบบระบบเติมออกซิเจนมีค่าถูกต้องมากยิ่งขึ้น ทำให้ลดภาระของผู้ใช้เครื่องเติมอากาศทั้งค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเครื่องเติมอากาศและค่าไฟฟ้าในการดำเนินการ

ศูนย์วิจัยได้ทำการศึกษาการวัดค่า K_La จากน้ำในกระบวนการ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวัดประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศในสภาพใช้งานจริงเบื้องต้น รูปที่ 4.41 เป็นชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา ประกอบด้วยโอแก๊วขนาด 17 ลิตร ติดตั้งเช่นเดียวกับการศึกษาการวัดประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศในน้ำสะอาด (ในข้อ 4.6) เพียงแต่เปลี่ยนเป็นน้ำกระบวนการ ซึ่งเทคนิคในการวัดค่า K_La นั้นสามารถทำได้หลายวิธีเช่นกัน ขึ้นกับชนิดของน้ำเสีย เช่น ถ้าน้ำเสียนั้นเก็บตัวอย่างจาก ถังเติมอากาศในระบบบำบัดน้ำเสียนิยมใช้จุลินทรีย์ในการลดออกซิเจนละลาย โดยการปิดเครื่องเติมอากาศ แต่ถ้าน้ำเสียนั้นไม่มีจุลินทรีย์ในปริมาณที่สูงพอที่จะลดออกซิเจนละลายสามารถดำเนินการโดยการเป่าก๊าซไนโตรเจน เพื่อลดออกซิเจนละลายก่อนการเติมอากาศ เป็นต้น



รูปที่ 4.41 เป็นชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวัดค่า K_La ในน้ำกระบวนการ

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการวัดค่า K_La ของน้ำสะอาดและน้ำเสียชุมชนที่เก็บมาจากบ่อเดิมอากาศ โรงงานบำบัดน้ำเสียเทศบาลเมืองนนทบุรี โดยทำการหาค่า K_La น้ำกระบวนการจากเทคนิค respiration ซึ่งผลที่ได้ให้ค่าแอลฟาแฟคเตอร์ในช่วง 0.83-0.90 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่ดีในช่วงแคบเมื่อเทียบกับการค่า แอลฟาแฟคเตอร์ในเอกสารอ้างอิง

ตารางที่ 4.2 ค่าแอลฟาและเบต้าแฟคเตอร์ของน้ำเสียชุมชน

K_La of clean water (h^{-1})	Ave. K_La of clean water(h^{-1})	K_La of process(h^{-1})	แอลฟาแฟคเตอร์	เบต้าแฟคเตอร์
9.00	8.65	7.48	0.86	1.0
8.59		7.15	0.83	1.0
8.59		7.80	0.90	1.0
8.42		7.52	0.87	1.0

ส่วนตารางที่ 4.3 แสดงผลการวัดค่า K_La ของน้ำสะอาดและน้ำเสียที่เก็บมาจากบ่อ equalization ของโรงอาหาร ตึกกิจกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ โดยทำการหาค่า K_La น้ำกระบวนการจากเทคนิคการเป่าไล่ออกซิเจนโดยใช้ไนโตรเจน ซึ่งผลที่ได้ให้ค่าแอลฟาแฟคเตอร์ที่ค่อนข้างต่ำ โดยแอลฟาแฟคเตอร์เท่ากับ 0.34 ส่วนเบต้าแฟคเตอร์ใช้การวัดออกซิเจนละลายที่สภาวะคงตัว ได้ค่าเท่ากับ 0.91 ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงของน้ำเสียจากโรงอาหาร

ตารางที่ 4.3 ค่าแอลฟาและเบต้าแฟคเตอร์ของน้ำเสียจากโรงอาหาร ตึกกิจกรรม สจพ.

พารามิเตอร์	น้ำสะอาด	น้ำกระบวนการ
C_∞	8.49	7.75
K_La	11.99	4.11

การทดลองนี้ได้วิเคราะห์ คุณสมบัติ น้ำเสียเฉลี่ย ดังนี้ COD = 3,861 mg/L, Fat and oil = 1,800 mg/L, TDS = 3,730 mg/L, TSS = 1,080 mg/L, TS = 4,560 mg/L และ pH = 4.3

การวิจัยหาแอลฟาและเบต้าแฟคเตอร์รวมถึงเทคนิคในการวัด K_La ของน้ำในกระบวนการเป็นงานที่สำคัญและมีประโยชน์มากในการหาประสิทธิภาพที่แท้จริงรวมถึงการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียให้มีประสิทธิภาพ

4.11 การจัดทำวิทัศน์เพื่อเผยแพร่ความรู้และการฝึกอบรม

ศูนย์วิจัยฯ ได้ทำการผลิตสื่อเพื่อใช้ในการถ่ายทอดความรู้ 1 เรื่อง ในหัวข้อเรื่อง “กลไกการถ่ายเทออกซิเจนในน้ำ” โดยจัดทำเป็นวิทัศน์ความยาวประมาณ 7 นาที บรรยายถึงกลไกที่เกิดขึ้นในการถ่ายเทออกซิเจนจากชั้นฟิล์มของอากาศเข้าสู่ชั้นฟิล์มของของเหลว และการคำนวณค่าการละลายของออกซิเจนในน้ำที่สมดุลตามกฎของ Henry

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

ศูนย์วิจัยและทดสอบการเดิมอากาศได้ดำเนินการจัดทำระบบทดสอบเครื่องเดิมอากาศและการเดิมอากาศในน้ำสะอาด โดยในปัจจุบันสามารถรับทดสอบประสิทธิภาพเครื่องเดิมอากาศในน้ำสะอาด ขนาดไม่เกิน 20 แรงม้า การศึกษาการไหลในบ่อน้ำเสีย และการตรวจวัดหาแอลฟาและเบต้าแฟคเตอร์ ของน้ำเสียในห้องปฏิบัติการ

ในขั้นตอนการดำเนินงานได้จัดหาเครื่องมือมาตรฐานในการตรวจวัด การสร้างถังขนาด 1.5x2x5 เมตร และ บ่อขนาด 6x6x5 เมตร เพื่อใช้ในการทดสอบเครื่องเดิมอากาศและการศึกษาการเคลื่อนที่ของของเหลวในถังเมื่อมีการติดตั้งเครื่องเดิมอากาศ โดยถังทดสอบขนาด 1.5x2x5 เมตร ได้ทำการติดตั้งกระจกเพื่อใช้ศึกษาพฤติกรรมการทำงานของเครื่องเดิมอากาศ

ในการจัดทำข้อกำหนดในการทดสอบเครื่องเดิมอากาศในน้ำสะอาดนั้น ได้ดำเนินการจัดสัมมนาเชิงปฏิบัติการ 2 ครั้ง เพื่อรวบรวมข้อคิดเห็นจากหน่วยงานภาคเอกชนและภาครัฐ จัดทำข้อกำหนดเพื่อใช้เป็นคู่มือในการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องเดิมอากาศ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการตรวจวัดประสิทธิภาพเครื่องเดิมอากาศนั้นยังมีข้อสังเกตหลายประการที่ไม่สามารถกำหนดเป็นตัวเลขอย่างชัดเจน เช่น รูปทรงของถังทดสอบ และ mixing volume ของการทดสอบเครื่องเดิมอากาศที่เหมาะสม ซึ่งในการศึกษาต่อไปอาจทำได้ถ้ามีการรวบรวมข้อมูลที่มากเพียงพอ

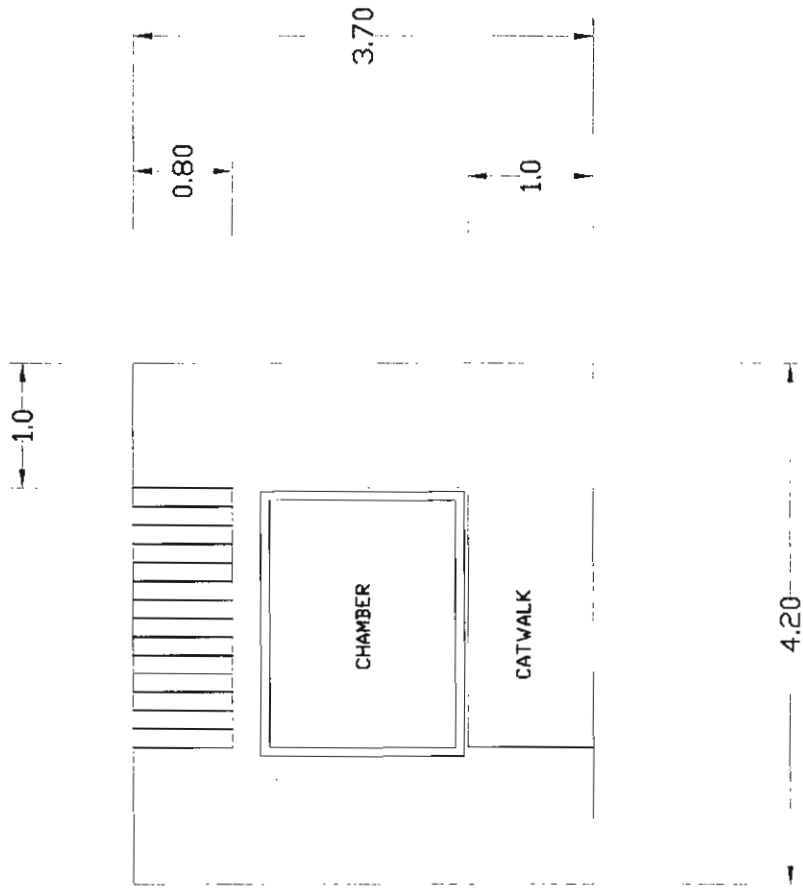
การตรวจวัดประสิทธิภาพเครื่องเดิมอากาศในน้ำกระบวนกรเป็นงานวิจัยที่ควรดำเนินการต่อเนื่องจากเครื่องเดิมอากาศส่วนใหญ่ถูกใช้งานในน้ำที่แตกต่างจากน้ำสะอาด ทำให้ทราบประสิทธิภาพที่แท้จริง อีกทั้งยังเป็นการรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการออกแบบที่ถูกต้อง

ควรมีการยกย่องมาตรฐานการทดสอบเครื่องเดิมอากาศให้เกิดขึ้นในประเทศ เพื่อให้การทดสอบเป็นบรรทัดฐานเดียวกัน

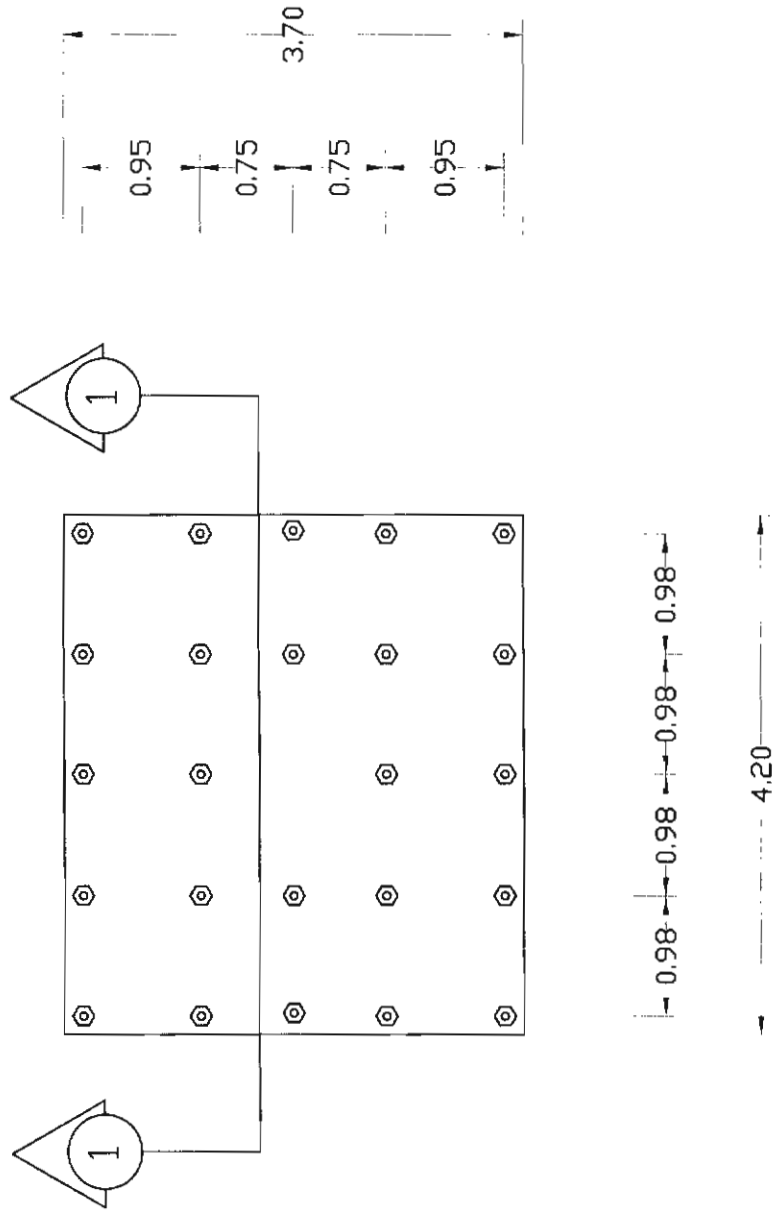
เอกสารอ้างอิง

1. Metcalf and Eddy “Wastewater engineering : treatment, disposal, reuse” 3rd ed., McGraw-Hill, Singapore, 1991.
2. Water Pollution Control Federation : American Society of Civil Engineers “Aeration a wastewater treatment process” WPCF Manual of Practice No.FD.13, 1988.
3. Droste, R. L. “Theory and practice of water and wastewater treatment” John Wiley and Sons, New York, 1997.
4. Hardenbergh, W. A. and Rodie, E. B. “Water supply and waste disposal” International textbook company, Pennsylvania, 1960.
5. ASCE Standard, Measurement of oxygen transfer in clean water, Published by the American Society of Civil Engineers, 345 East 47Th Street, New York, N.Y.10017-2398, USA, 1992.
6. ATV, Advisory Leaflet M 209 E, Measurement of oxygen transfer in activated sludge aeration tanks with clean water and in mixed liquor (in English), Published by GFA, Theodor Heuss Allee 17, D-53773 Hennef, Germany, 1996.
7. European Standard (Draft version) pr-EN12255-15, Wastewater treatment plant-part15: Measurement of oxygen transfer in clean water in activated sludge aeration tanks, Published by CEN, European Committee for Standardization.

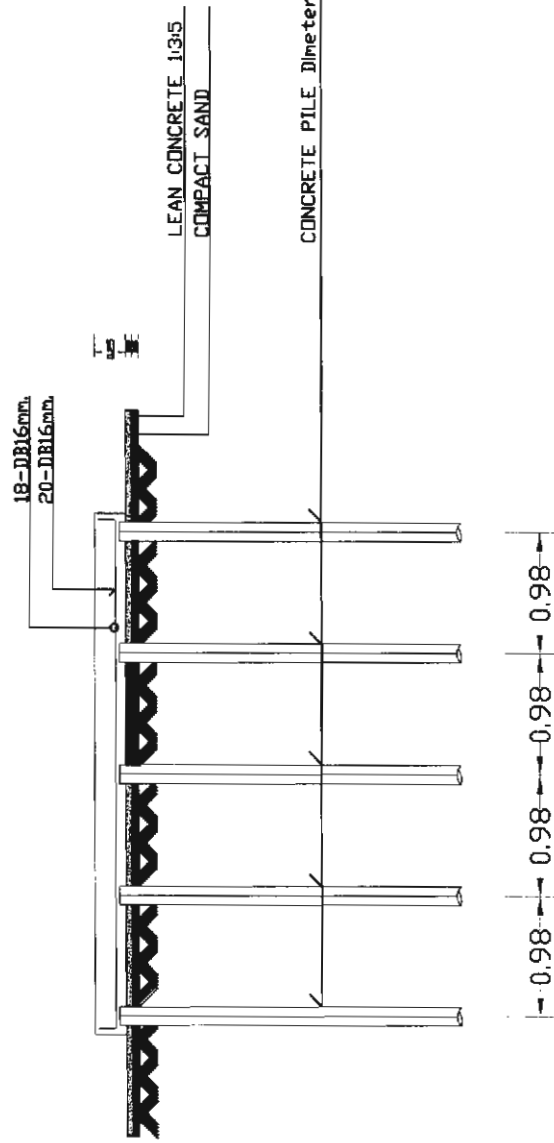
ภาคผนวก ก



PLAN



PLAN

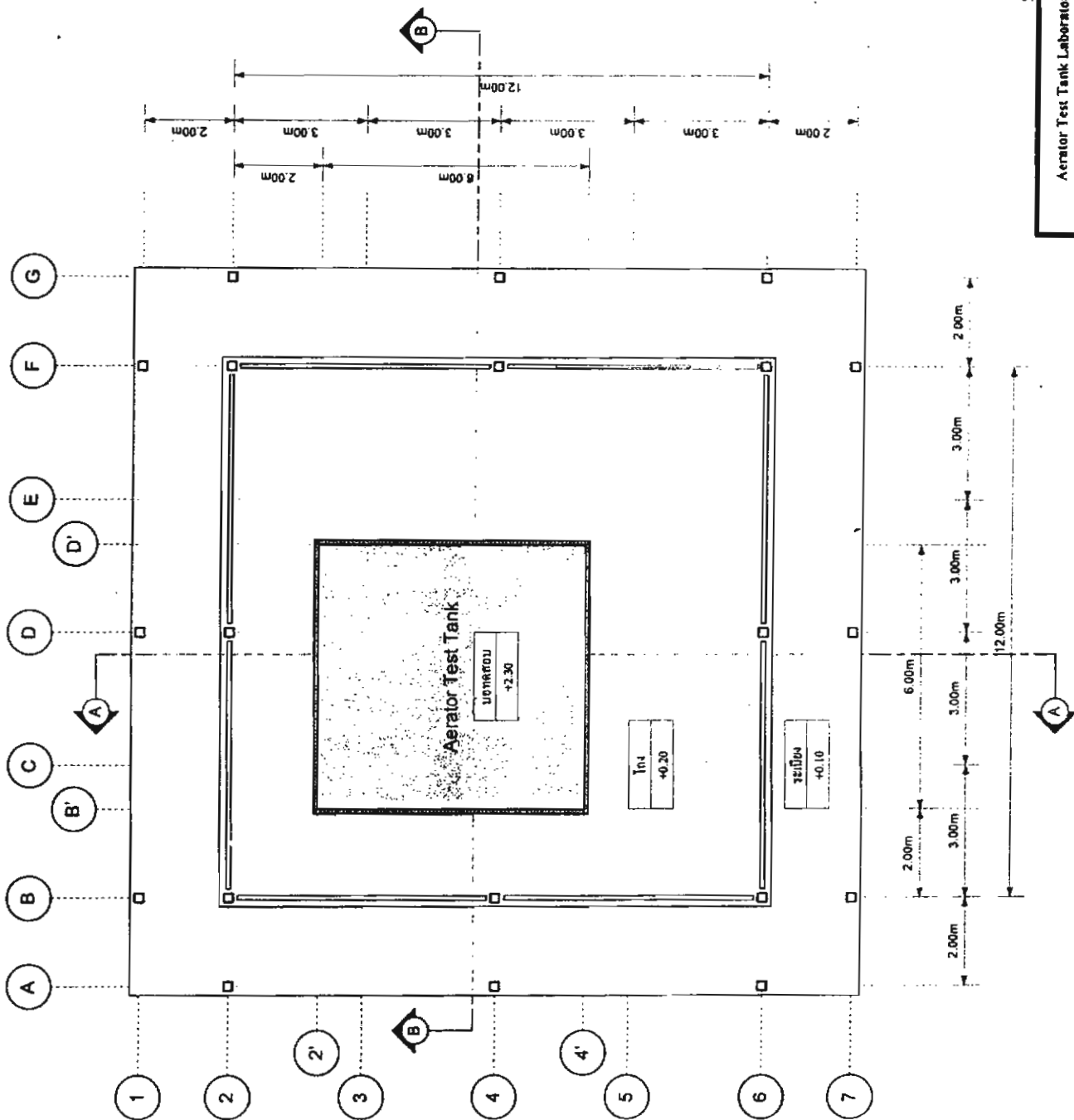


SECTION 1-1



Aerator Test Tank Laboratory

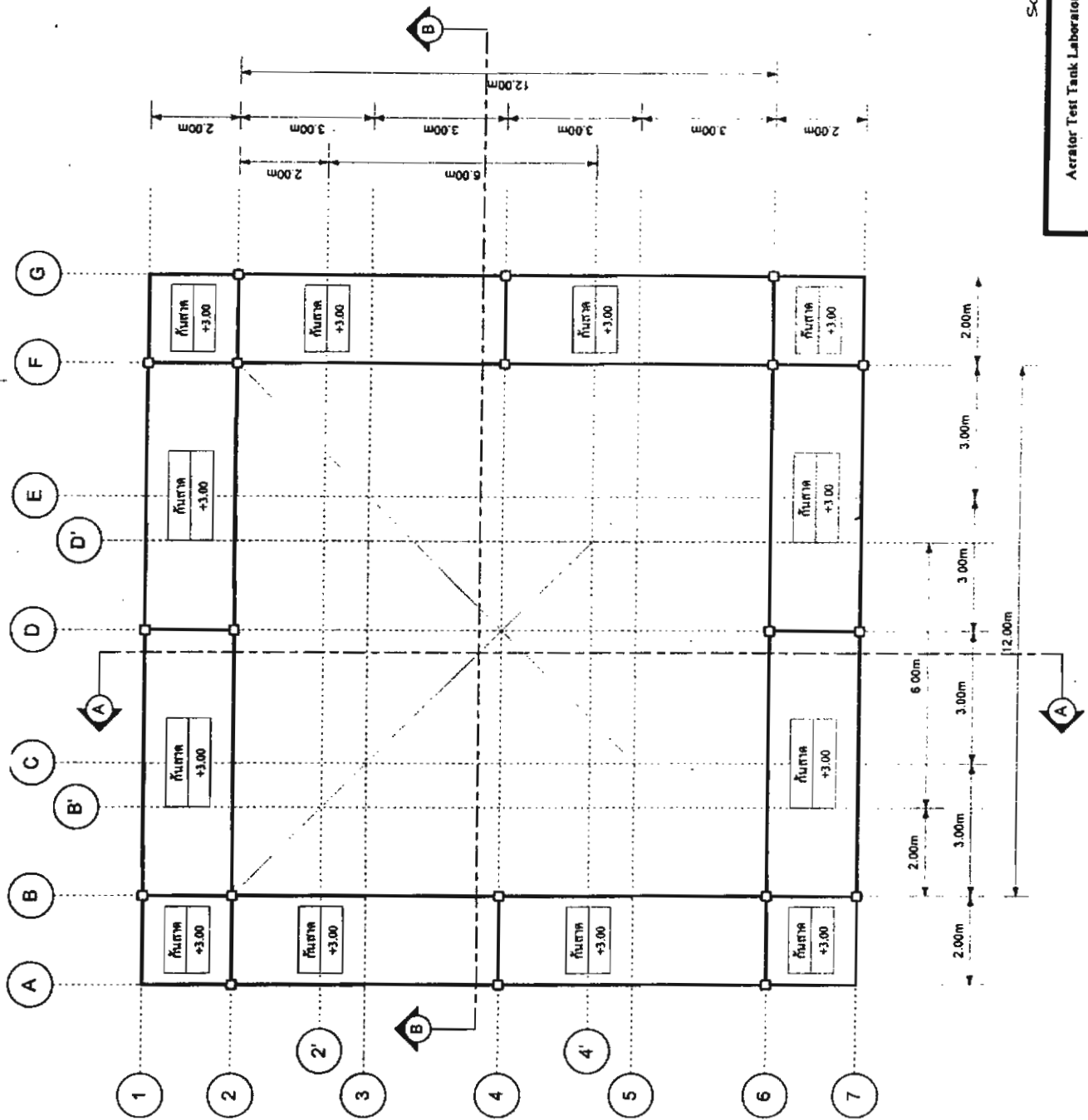
King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok (Prajinburi)



SCALE 1:100

Aerator Test Tank Laboratory, KMITNB (Prachinburi)

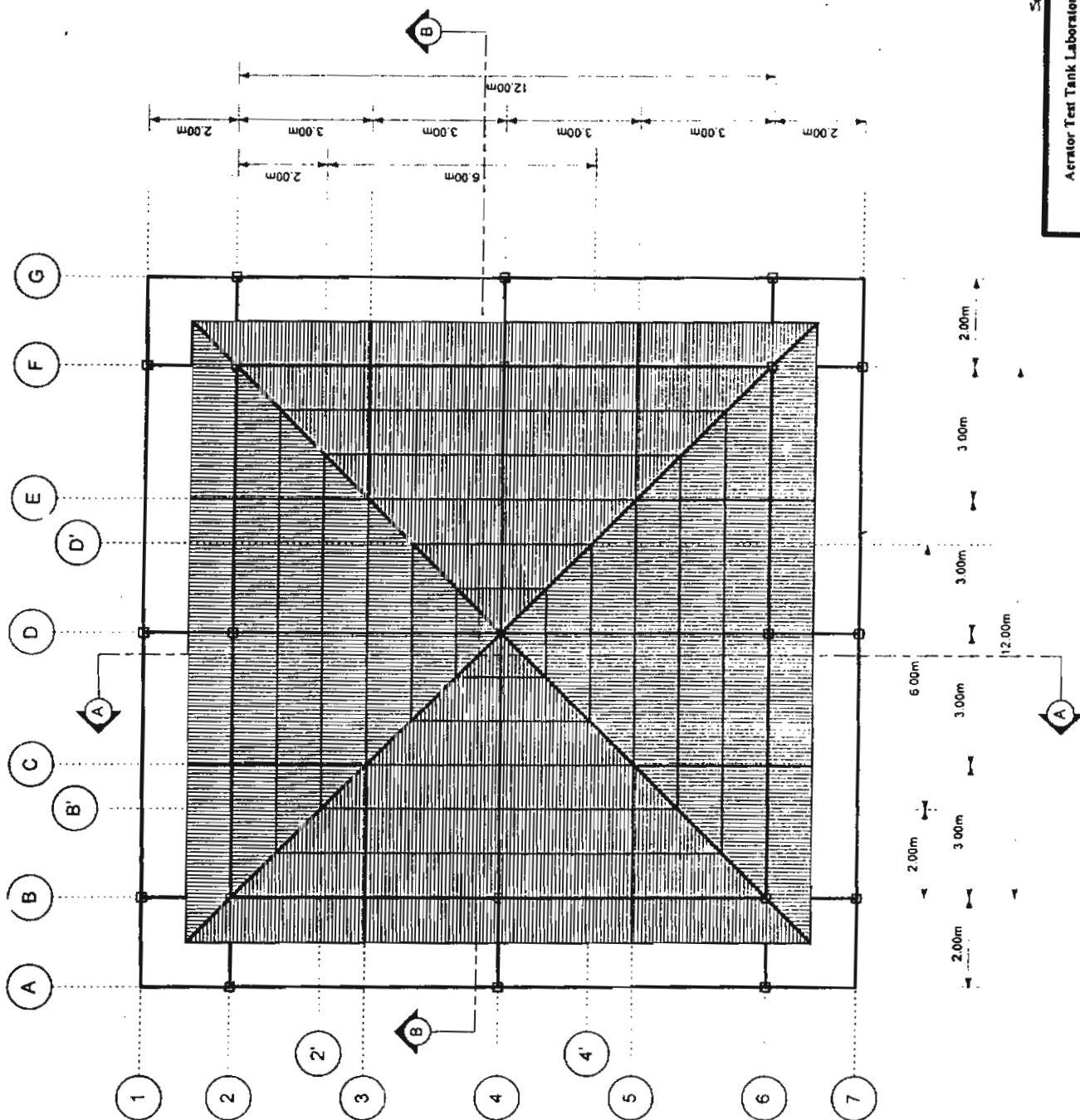
Drawing Title:	แปลนพื้นที่	Drawing No:
Location:	KMITNB Prachinburi	
Owner:	พระยาภิรมย์ภักดี	
Structural Engineer:	นาย ธรรมศักดิ์ ธรรม (ภพ 21396)	



SCALE 1:100

Aerator Test Tank Laboratory, KMITNB (Prachinburi)

Drawing Title:	แปลนพื้นที่	Drawing No.
Location:	KMITNB Prachinburi	
Owner:	ขอสงวนสิทธิ์	
Structural Engineer:	นพวิทย์ วัฒนวิทย์ (ร.ค. 21396)	



SCALE 1:100

Accrator Test Tank Laboratory, KMITNB (Prajinburi)

Drawing Title:

แปลแบบ

Location:

KMITNB Prajinburi

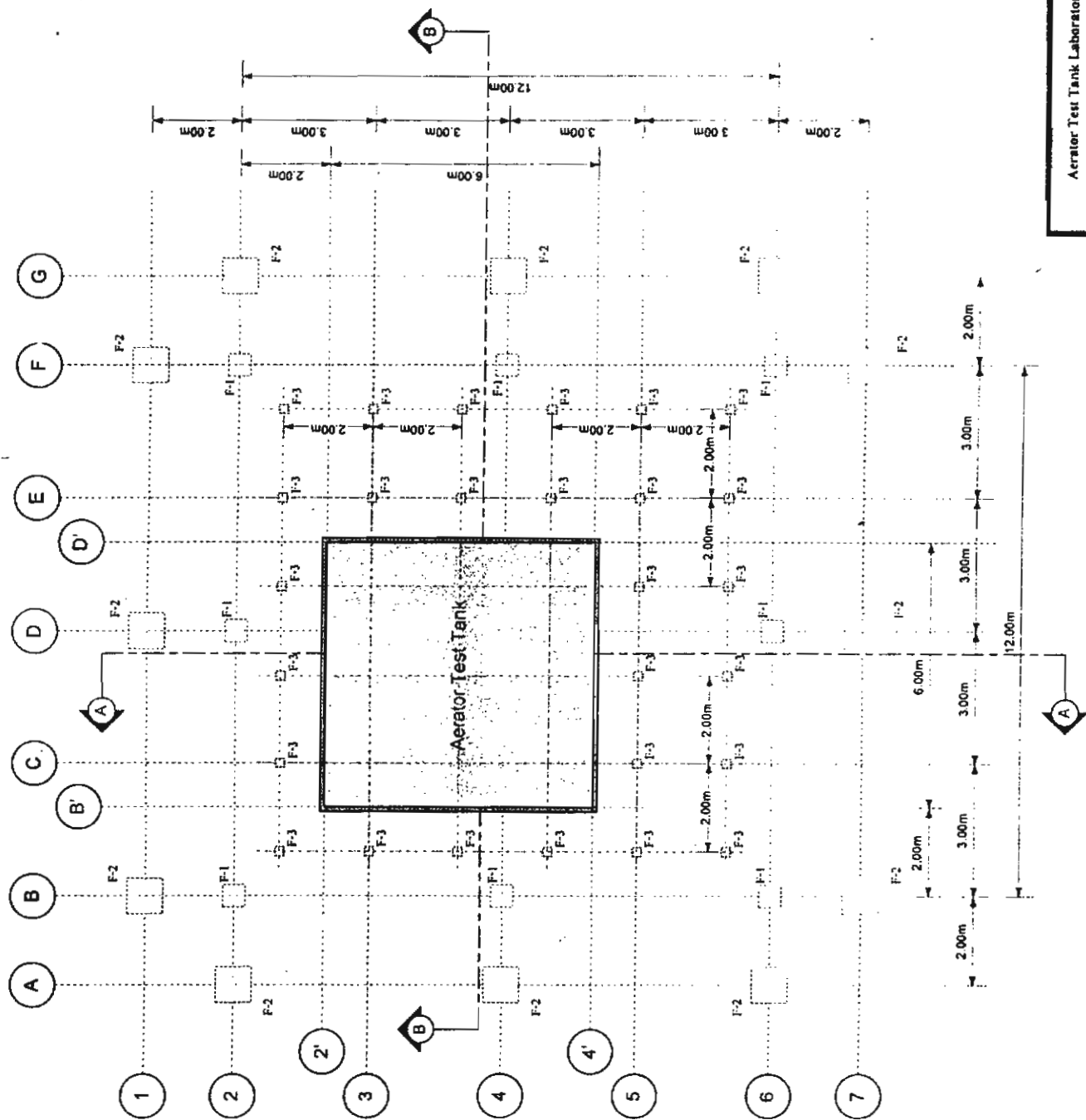
Owner:

ดร. สุวิทย์ วัฒนวิทย์

Structural Engineer

ใบอนุญาตประกอบวิชาชีพ (no. 3136)

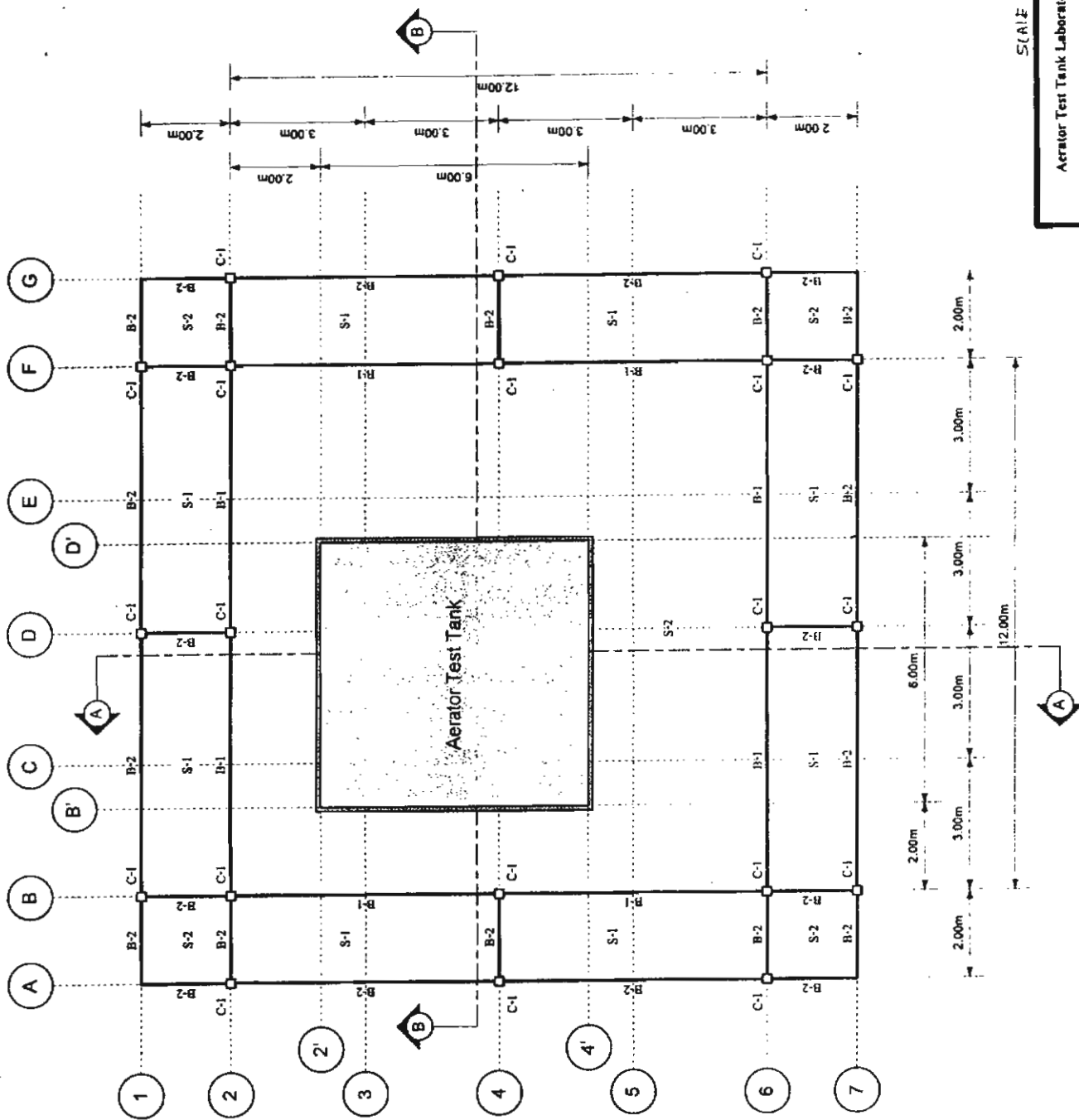
Drawing No.



SCALE 1:100

Aerator Test Tank Laboratory, KMITNB (Prajinburi)

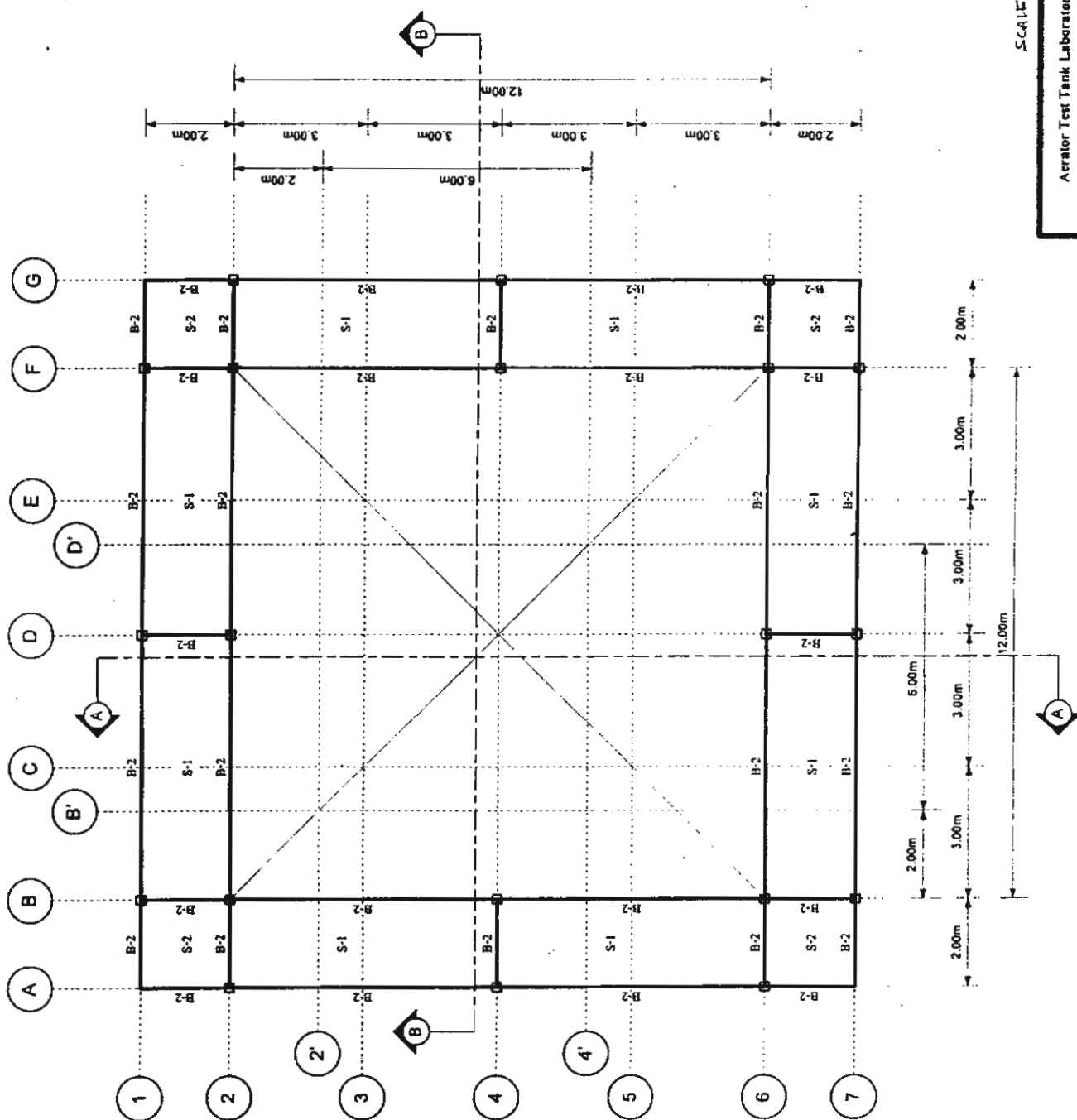
Drawing Title:	โครงการใน	Drawn: N
Location:	KMITNB Prajinburi	
Owner:	สว. วิทยา วัฒนศิริ	
Structural Engineer:	น.ส. วรรณวิมล งาม (ม. 21396)	



SCALE 1:100

Aerator Test Tank Laboratory, KMITNB (Pras./Inbun)

Drawing Title:	โครงการ/โครงการ	Drawing No.
Location:	KMITNB Inbun	
Owner:	บริษัท/บริษัท	
Structural Engineer:	วิศวกร/วิศวกร (ร. 2136)	



SCALE 1:100

Accrator Test Tank Laboratory, KMITNB (Prachinburi)

Drawing Title:

แผนผังอาคาร

Drawing No:

Location:

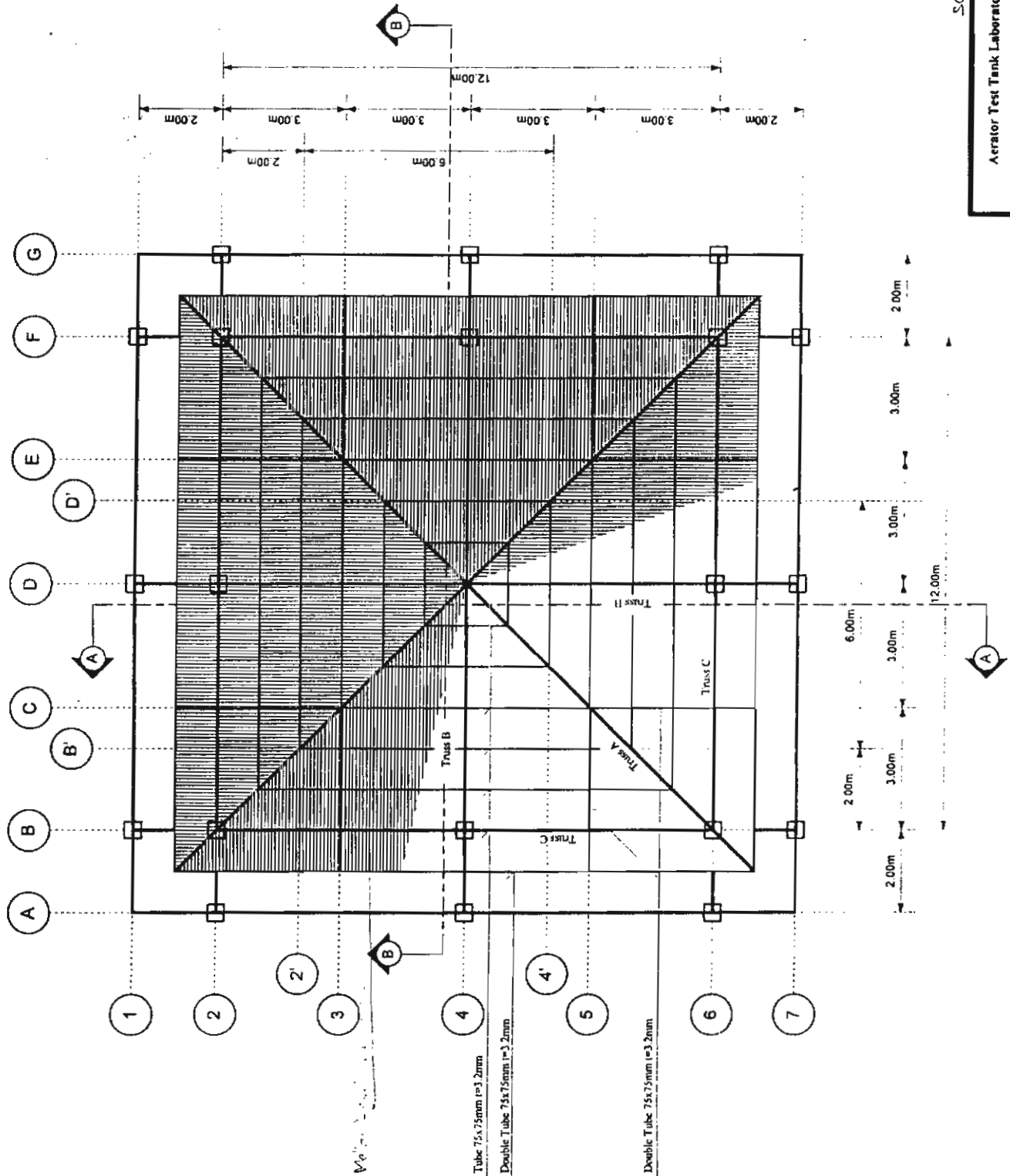
KMITNB Prachinburi

Drawn by:

นางสาวกัญญา คุ้มทรัพย์

Structural Engineer

วันที่ ๒๖ ตุลาคม ๒๕๖๓ (๒๖/๑๐/๖๓)



SCALE 1:100

Aerator Test Tank Laboratory, KMITNB (Prajiburi)

Drawing Title	แผ่นโครงสร้าง	Drawing No.
Location	KMITNB Prajiburi	
Owner	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	
Structural Engineer	นายสุวิทย์ วัฒนศิริ (no 21396)	