



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ ศูนย์วิจัยและทดสอบการเติมอากาศ



โดย ผศ.ดร.อนุรักษ์ ปีติรักษ์สกุล

และ

อาจารย์สุรียนต์ 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	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 การจัดทำวิดิทัศน์เพื่อเผยแพร่ความรู้และการฝึกอบรม	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 $K_L a_{20}$ 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 $K_L\alpha$ 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 การคิดร ค่าการ 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 1.5×2×5 เมตร และ 6×6×5 เมตร พร้อมทั้งจัดหาเครื่องมือมาตรฐานในการวิเคราะห์น้ำ การละลายของออกซิเจนในน้ำ และการวัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องเติมอากาศ รวมทั้งเรียนเชิญกรมควบคุมมลพิษ ร่วมจัดการประชุมสัมมนาเชิงปฏิบัติการ โดยความร่วมมือของภาครัฐ (กรมชลประทาน) และภาคเอกชน (ผู้ผลิตและผู้ใช้เครื่องเติมอากาศ) จัดทำข้อกำหนดในการทดสอบเครื่องเติมอากาศขึ้น นอกจากนี้ยังมีการศึกษาคุณลักษณะของน้ำเสียรวมทั้งแอลฟาและเบต้าแฟกเตอร์ สุดท้ายได้ทำการทดลองวัดความเร็วน้ำภายในบ่อเพื่อใช้ศึกษาไฮโดรไดนามิกส์ของการเติมอากาศโดยใช้เครื่องเติมอากาศแบบเวนทูรีเป็นกรณีศึกษา

ในปัจจุบันศูนย์วิจัยฯ มีความสามารถทดสอบประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศ ขนาดไม่เกิน 20 แรงม้า ในน้ำสะอาด ตามข้อกำหนดที่ได้ทำการรวบรวมขึ้นมามากทั้งอุปกรณ์ที่มีอยู่สามารถนำไปทดสอบประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศตามมาตรฐานสากลได้เช่นกัน ซึ่งจากงานวิจัยนี้สามารถตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศได้ตามหลักวิชาการ ทำให้ผู้ผลิตสามารถนำวิธีการตรวจวัดไปใช้ปรับปรุงเครื่องเติมอากาศ และผู้ใช้มีความมั่นใจในการซื้อสินค้า รวมทั้งวิศวกรออกแบบสามารถกำหนดขนาดเครื่องเติมอากาศให้มีความแม่นยำมากขึ้น วิจัยที่น่าจะทำการศึกษาต่อไปคือการทดสอบเครื่องเติมอากาศโดยใช้น้ำกระบวนกร 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	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 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, แผ่นเรียบแบบฟองละเอียด	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, และ ต้องเป่าอากาศที่ความลึก	ระบบตะกอนเร่งจำเพาะ	ประสิทธิภาพสูง	มีข้อจำกัดด้าน รูปร่างของระบบ	NA	NA
เครื่องกลเติม อากาศชนิด ความเร็วต่ำ (20 – 100 rpm) ไหล ตามแนวรัศมี (radial flow)	ใช้ความเร็วรอบต่ำ, มี เส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ ติดตั้ง บนท่อนลอยน้ำหรือศรีติคบน platform ใช้เพื่อทรงรอบ	เหมือนกับหัวพ่นฝอย	ถึงสามารถออกแบบ ได้หลายรูปร่าง ค่า pumping capacity สูง	เป็นหยด, ราคา เครื่องจักรสูงและ ต้องมีการบำรุงรักษา ที่เพียงพอ	-	1.5 – 2.1
เครื่องกวนชนิด ไหลตามแกน (axial flow) ความเร็วรอบสูง (900 – 1800 rpm)	ความเร็วรอบสูงมี เส้นผ่านศูนย์กลางต่ำโดยตรงจาก มอเตอร์ มักติดตั้งบนท่อนลอย	ใช้ใน aerated lagoon และ ระบบให้อากาศช้า	ค่าใช้จ่ายต่ำ ทำงานสะดวก	การ mixing อาจไม่ เพียงพอ	-	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

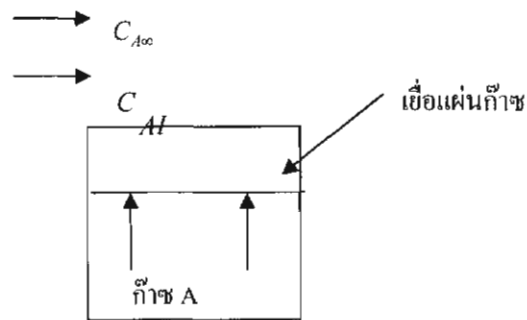
$$k_c^* = \frac{J_A}{C_{Ai} - C_{A\infty}} = - \frac{D(\partial C_A / \partial Z)_{Z=0}}{C_{Ai} - C_{A\infty}} \quad (2.9)$$

โดย k_c^* : สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล

C_{AI} : ความเข้มข้นของกระแสของไหลที่พื้นผิวเยื่อแผ่น

ถ้าเขียนสมการตามแบบสมการ Newton's law จะได้

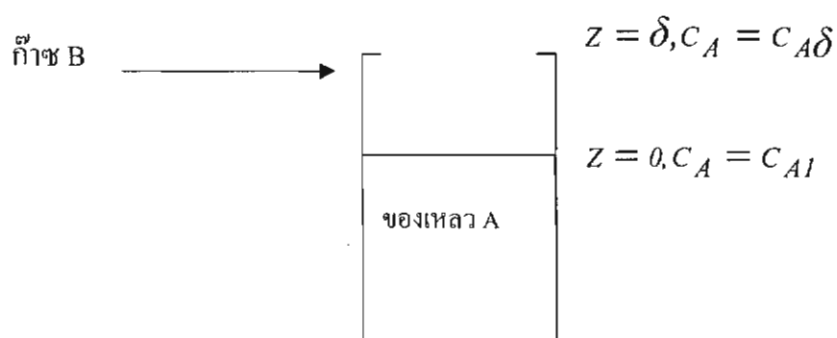
$$N_A = k_c^*(C_{AI} - C_{A\infty}) \quad (2.10)$$



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

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

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

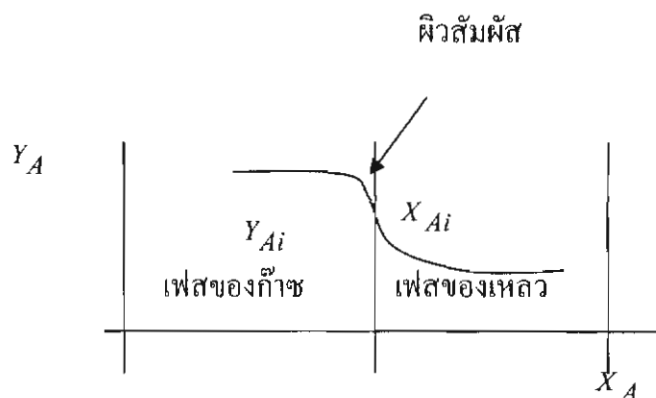
$$= ky(Y_{Ai} - Y_{A\delta}) \quad (2.31b)$$

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 สามารถคำนวณหาความเข้มข้นของ ก๊าซ 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

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

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 มีภาระกิจหลักในเบื้องต้นคือการรับทดสอบประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศ และให้คำแนะนำกับผู้ประกอบการ การศึกษาสมบัติของน้ำเสีย อีกทั้งการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีประสิทธิภาพสูงก็ถือเป็นภาระกิจหลักของโครงการเช่นกัน โดยคาดว่ารายได้ของศูนย์ในอนาคตจะเกิดขึ้นจากเงินรับจ้างทดสอบ เงินสนับสนุนจากการถ่ายทอดเทคโนโลยีการเติมอากาศ รายได้จากการฝึกอบรม และเงินจากการ ขอเงินสนับสนุนวิจัยจากภาครัฐและเอกชน เป็นต้น

4.3 การดำเนินการจัดหาครุภัณฑ์โครงการ

ครุภัณฑ์ที่ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก สกว. รวมทั้งหมด 14 รายการ แต่ได้ขออนุมัติเพิ่ม 2 รายการ คือ ตู้เก็บเอกสาร และยกเลิ 2 รายการคือ 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

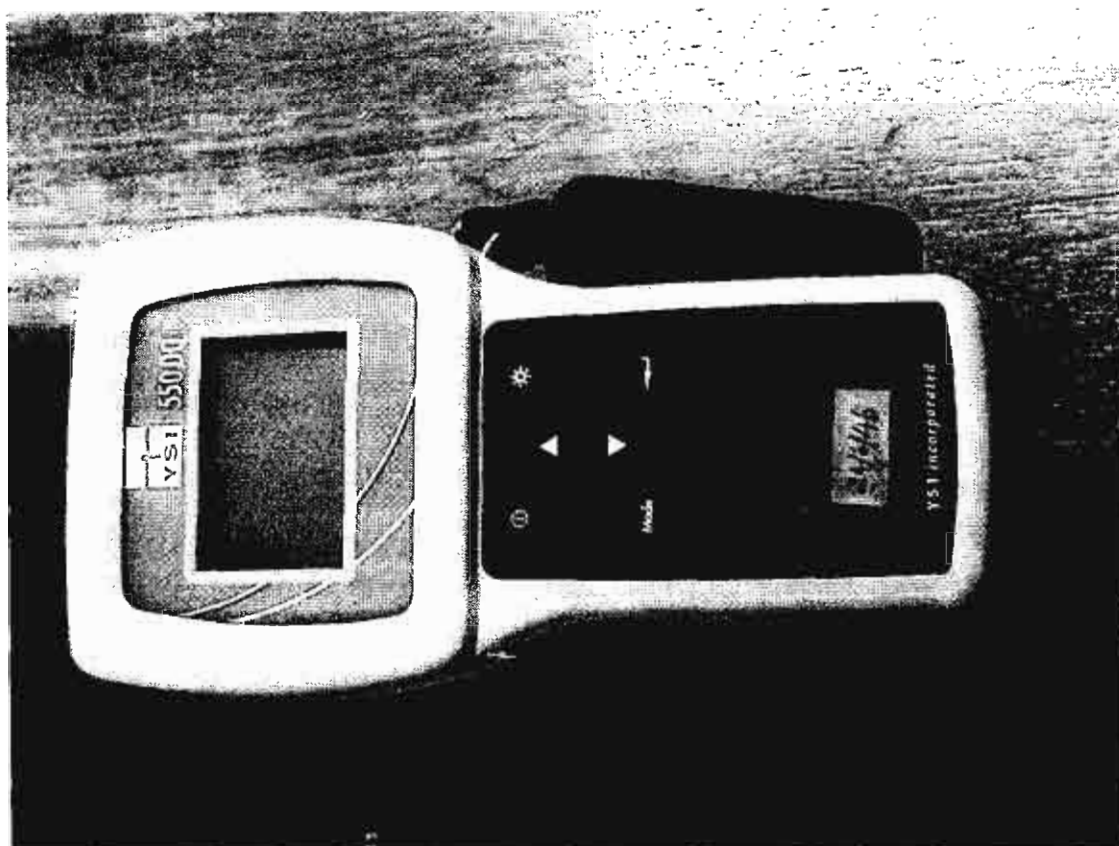
เครื่องวัดออกซิเจนละลายตามรูปที่ 4.1 เป็นอุปกรณ์สำคัญในการติดตามการเปลี่ยนแปลงค่าออกซิเจนละลายในขณะทดสอบสมรรถนะของเครื่องเติมอากาศ โดยมาตรฐาน ASCE แนะนำว่าควรมีเครื่องวัดออกซิเจนละลายไม่น้อยกว่า 3 เครื่องในการเก็บข้อมูลแต่ละครั้ง โดยการทดสอบทุกครั้งควรทำการ calibrate เครื่องเพื่อให้ค่าออกซิเจนละลายมีค่าใกล้เคียงกัน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



(n)



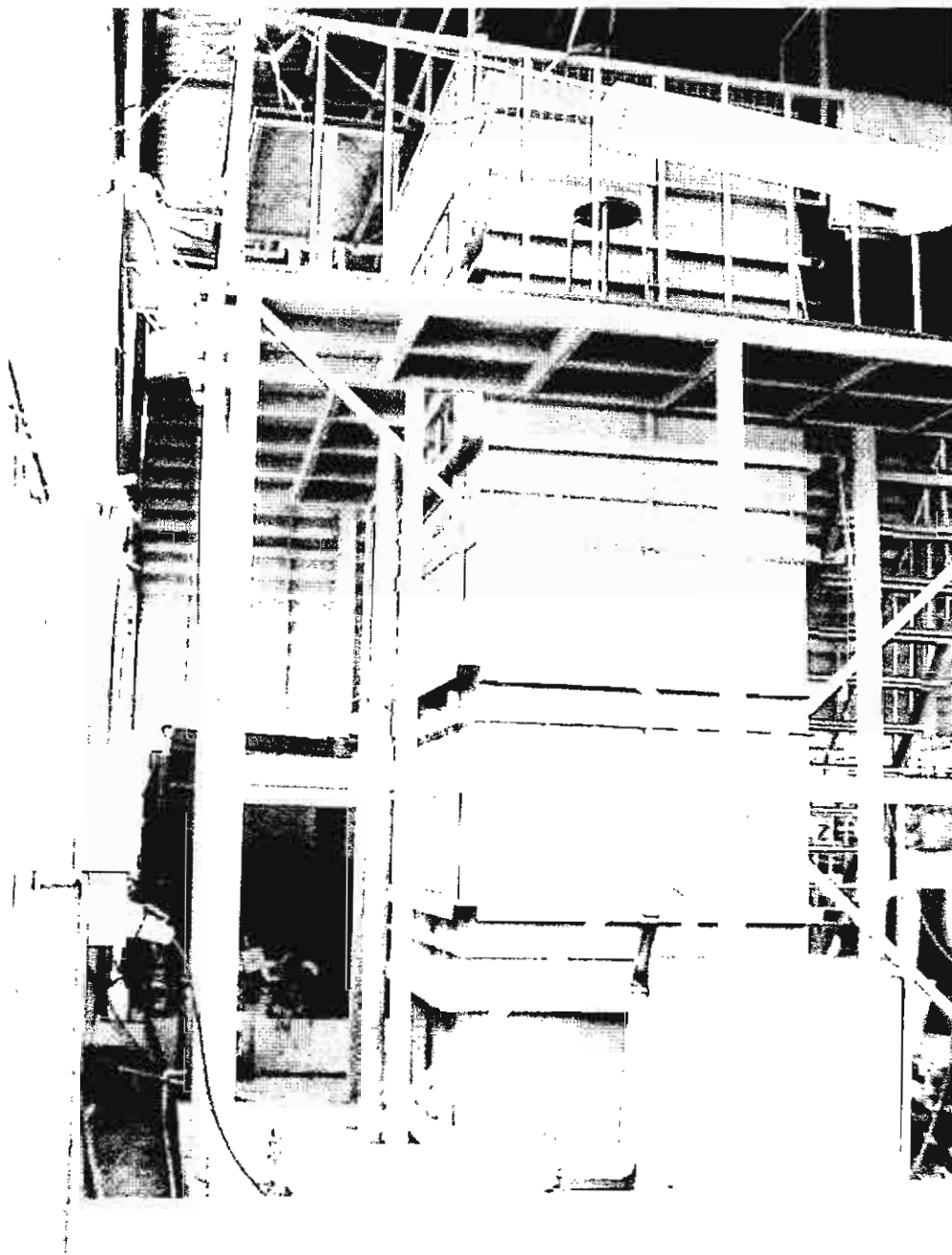
(u)



(ค)

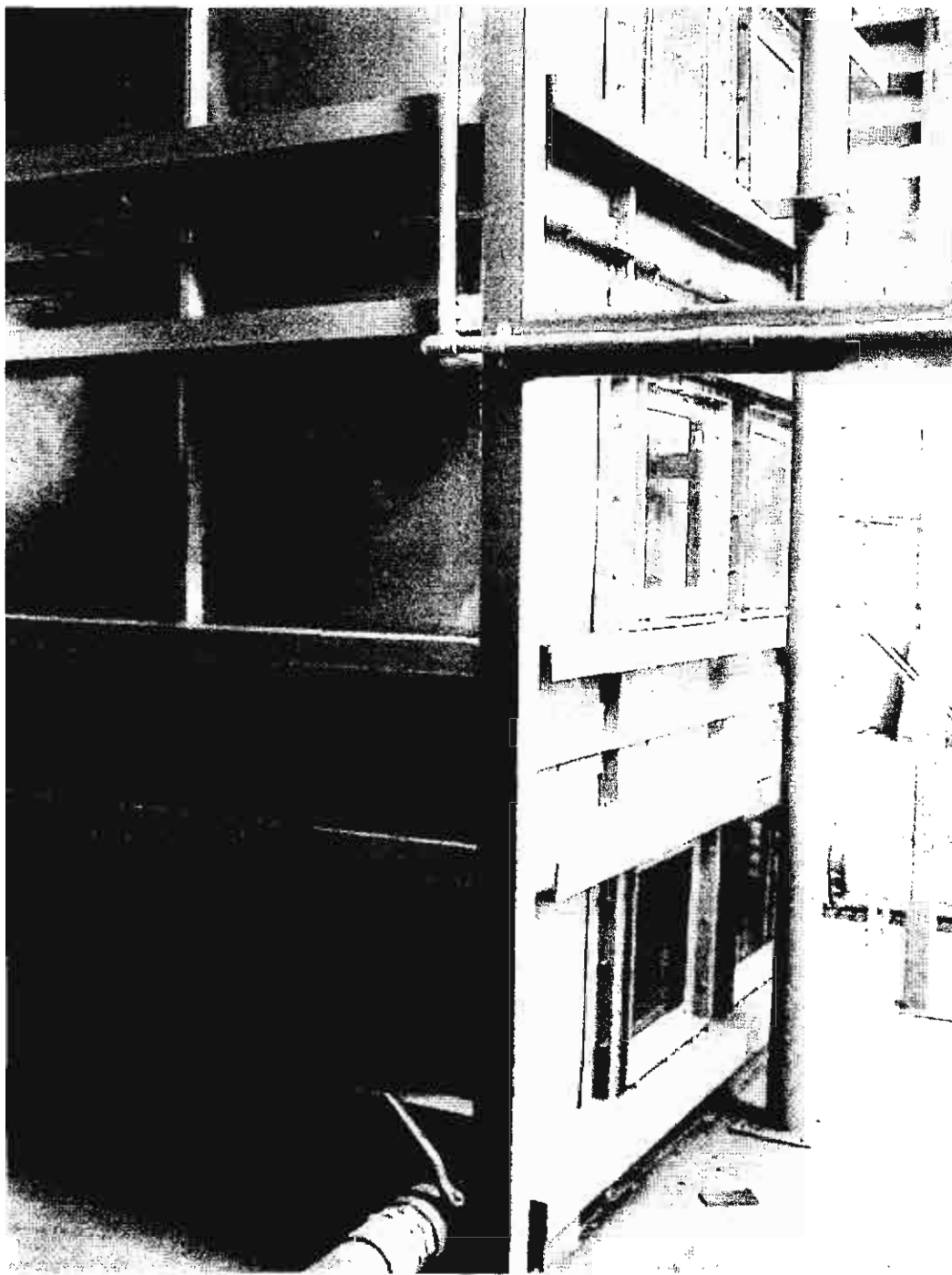
รูปที่ 4.1 เครื่องวัดออกซิเจนละลาย

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

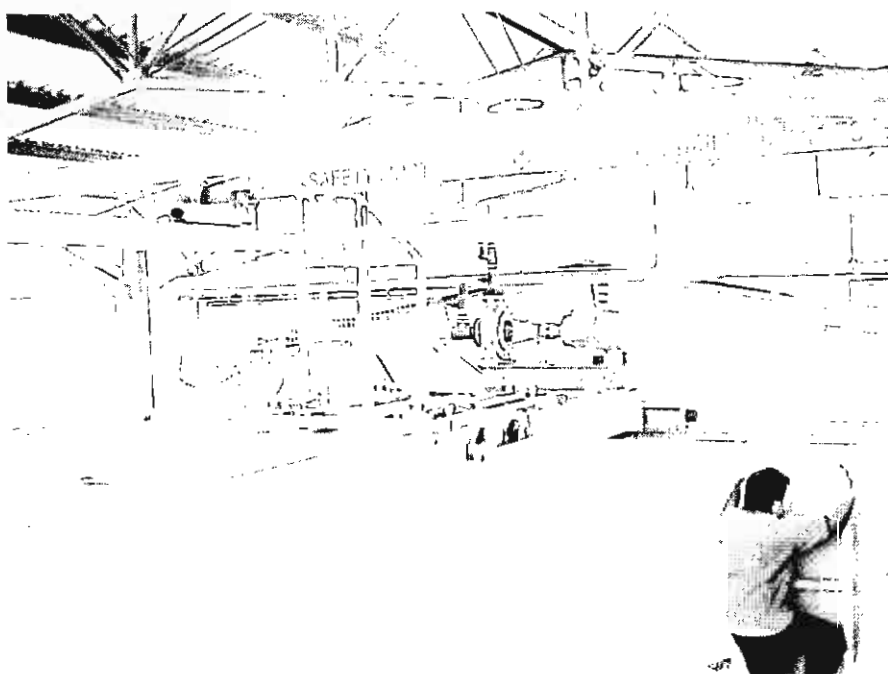
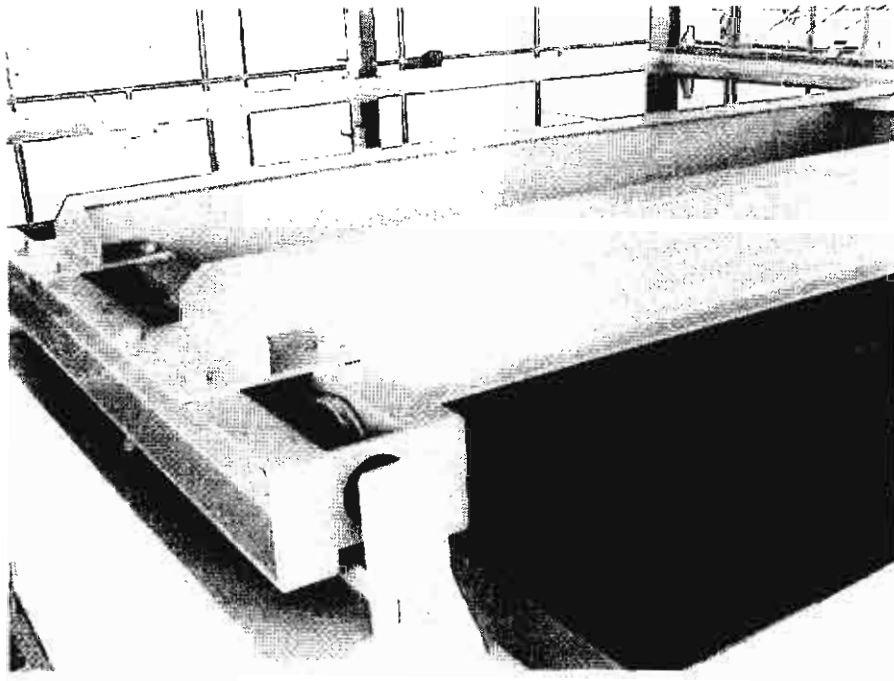
สำหรับบ่อทดสอบขนาด 6x6x5 เมตร ได้ดำเนินการจัดสร้างที่ สจพ. ปราจีนบุรี แสดงตามรูปที่ 4.4 เป็นบ่อคอนกรีตเสริมเหล็ก ภายในบ่อทาด้วยสีอีพอกซี เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากสารที่ละลาย กลับมาจากคอนกรีตที่ใช้ก่อสร้างบ่อ ตัวบ่อจะอยู่ในโครงหลังคาเหล็ก เพื่อความสะดวกในการเก็บ

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

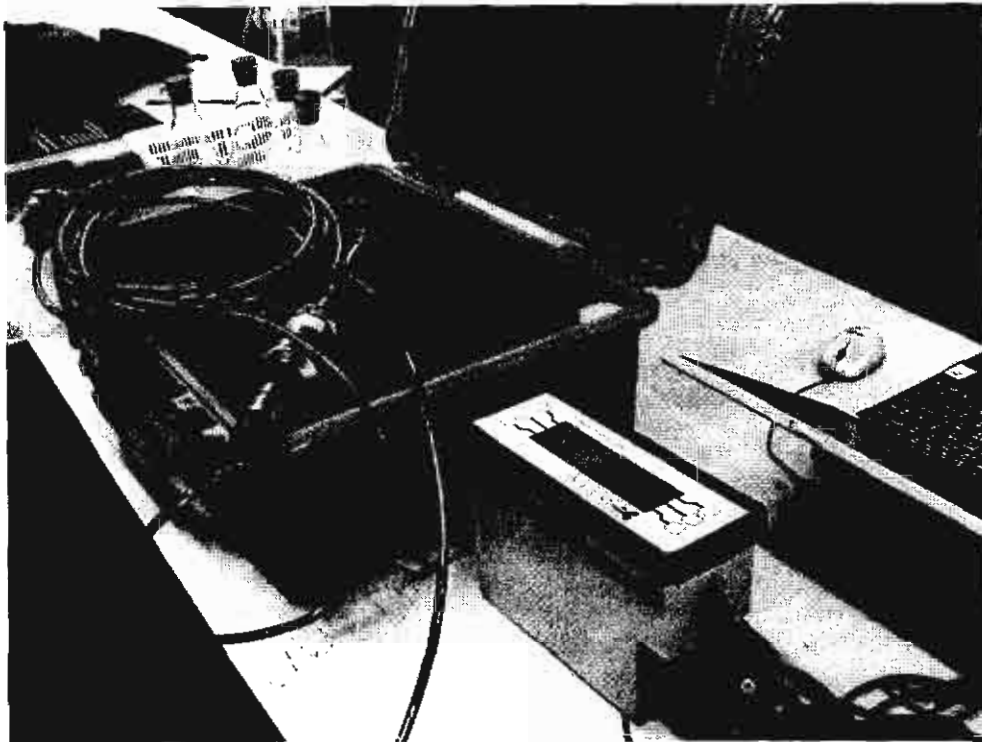


รูปที่ 4.4 บ่อทดสอบเครื่องเดิมอากาศขนาด 6x6x5 เมตร

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



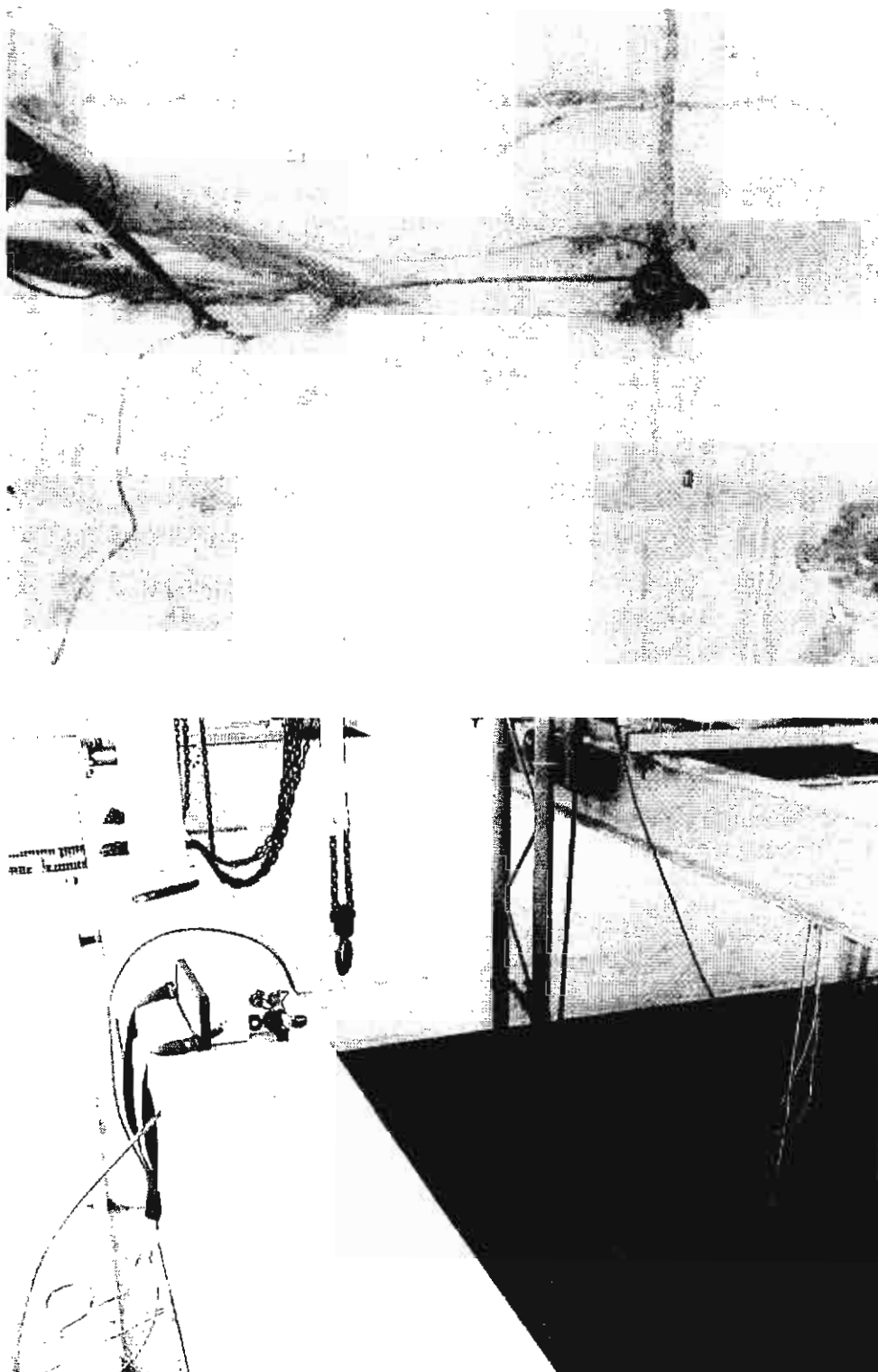
รูปที่ 4.5 เคนขกของ รอก และ คานรองรับเครื่องเติมอากาศ



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



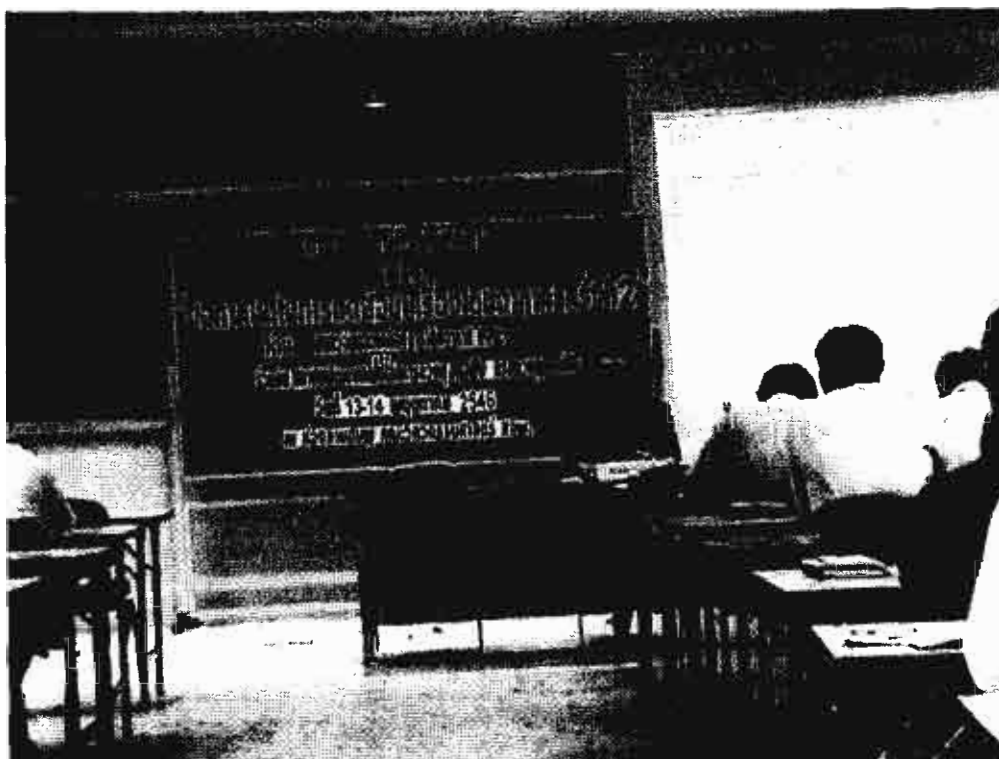
รูปที่ 4.7 การติดตามบันทึกผลกระทบเสน้ำด้วยเครื่องวัดความเร็วน้ำ

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 กันสำหรับผู้ประกอบการที่ทำธุรกิจไปในแนวเดียวกัน 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 กันสำหรับผู้ประกอบการที่ทำธุรกิจไปในแนวเดียวกัน 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

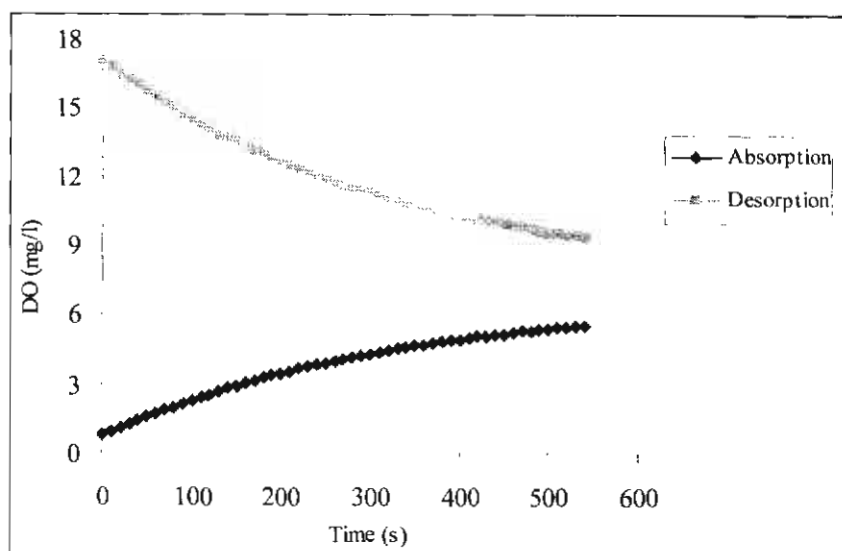
4.6 การทดสอบเครื่องเติมอากาศในห้องปฏิบัติการ

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) เป็นที่ยอมรับของมาตรฐานการทดสอบมากกว่าการใช้ไนโตรเจนเป่าไล่ 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) โดยพารามิเตอร์ทั้งสองนี้จะแสดงเป็นค่าสัดส่วนระหว่าง การทดสอบในน้ำกระบวนการและการทดสอบในน้ำสะอาด 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

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

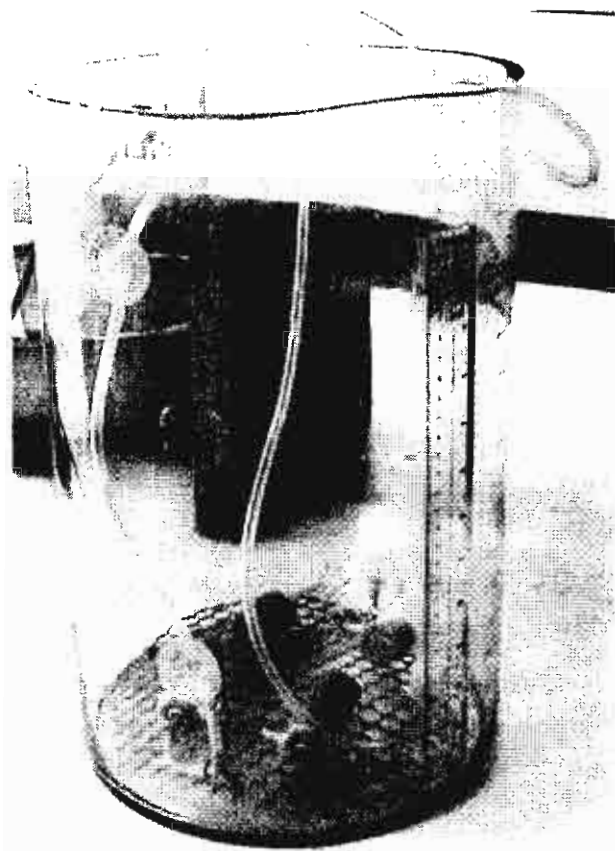
โดย ตัวห้อย s คือ ค่าการละลายอิมิตัวที่ผิว (surface saturation values)

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

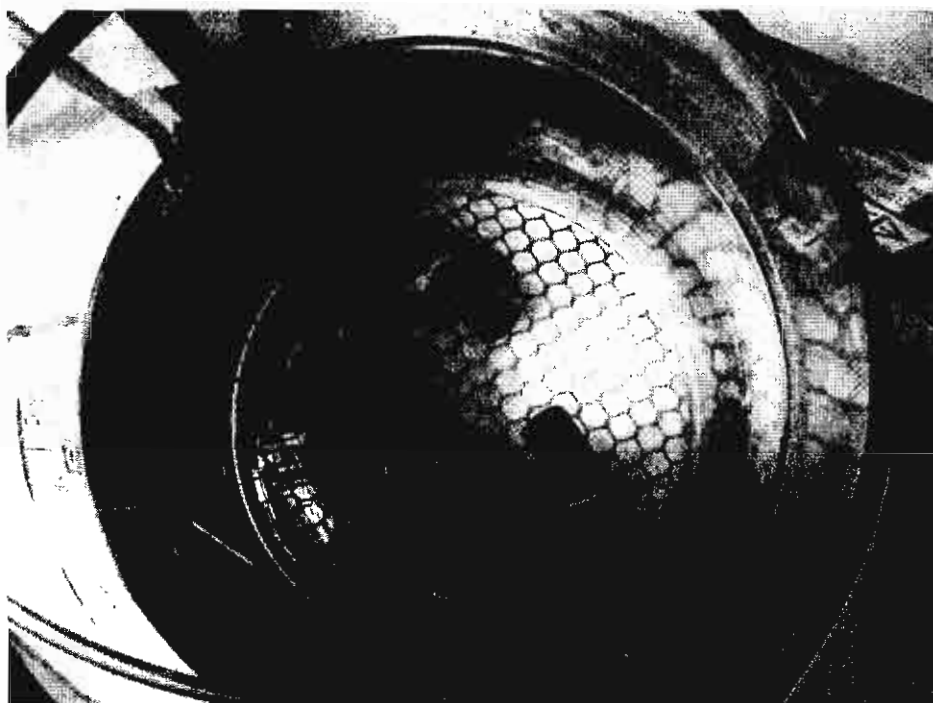
เบต้าแฟกเตอร์ เป็นค่าที่แปรผันในช่วง 0.8-1.0 โดยค่าจะเข้าใกล้ 1.0 กรณีน้ำเสียชุมชน เนื่องจากไม่สามารถวัดค่าอิมิตัวโดยใช้หัวอ่านค่า และเนื่องจากน้ำเสียส่วนใหญ่จะมีสารปนเปื้อน ทำให้การวัดค่าทำได้ยาก ดังนั้น ในบางครั้งจะพบว่าค่าเบต้าแปรผันตามค่าของแข็งละลายในน้ำกระบวนการ

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 ดังนั้นในการทดสอบในระยะเวลาดำเนินการจึงใช้การวิเคราะห์โดยเทคนิค non-linear regression เป็นหลัก ซึ่งผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบนี้จะขอลำดับถึงในภายหลัง)

รูปที่ 4.10-4.12 เป็นรูปแสดงโถแก้วที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 4.10 โดแก้วที่ใช้ในการทดสอบเครื่องเดิมอากาศในห้องปฏิบัติการ

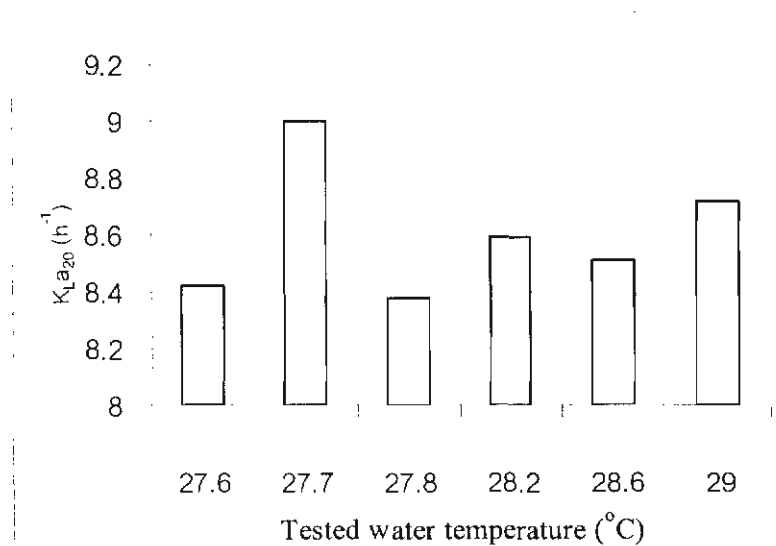


รูปที่ 4.11 ภาพด้านบนของโดแก้ว



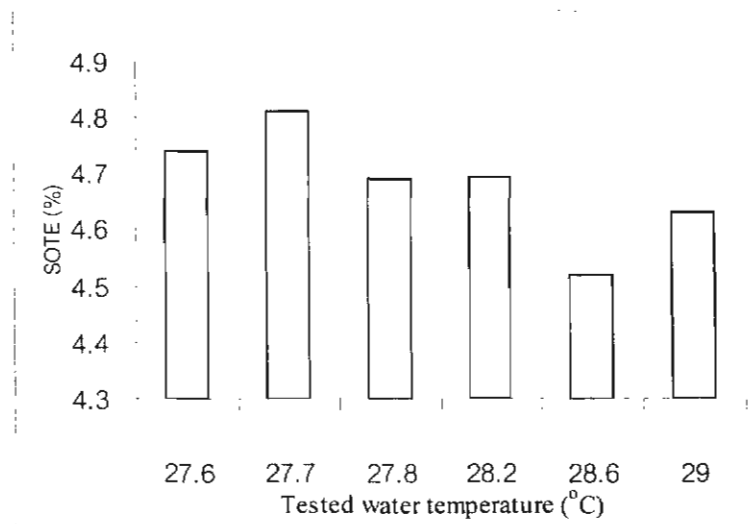
รูปที่ 4.12 ภาพโถแกว่งขณะพ่นฟองอากาศ

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} .



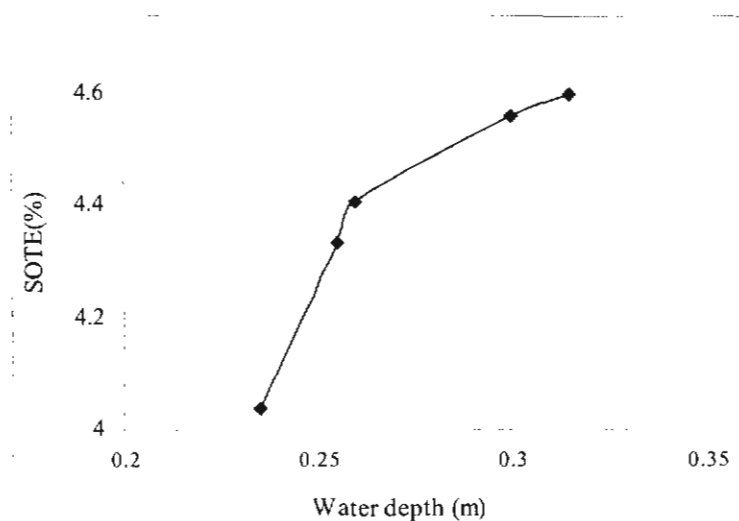
รูปที่ 4.13 ค่า $K_L a_{20}$ ในน้ำสะอาดโดยเทคนิคการดูดซับในห้องปฏิบัติการ

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

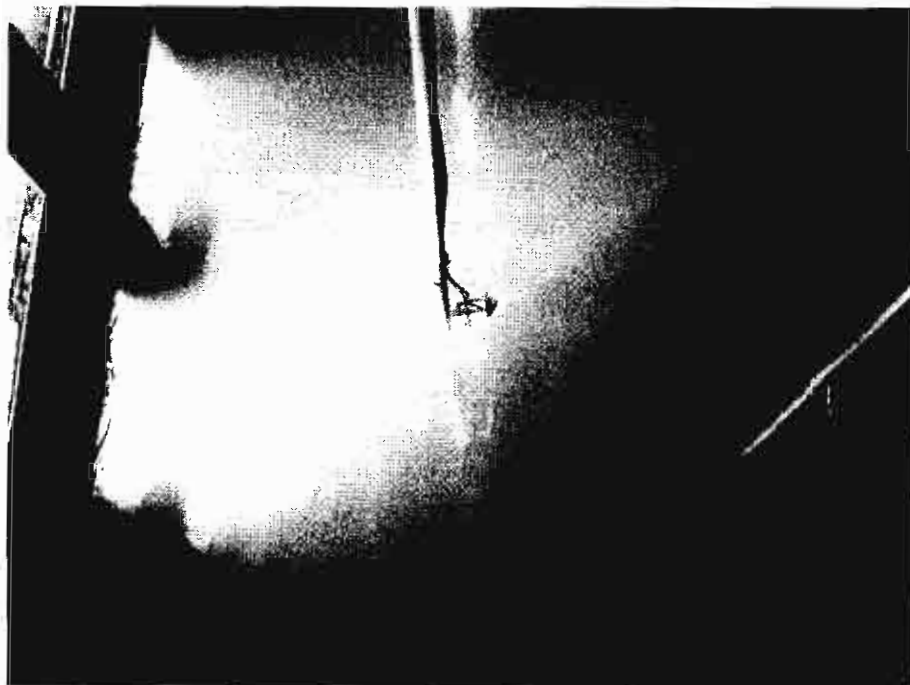
จากรูปที่ 4.15 ค่า SOTE ที่ระดับความสูงน้ำ 0.3 เมตร ให้ค่าเท่ากับ 4.56% ซึ่งให้ค่าอยู่ในช่วงเดียวกับรูปที่ 4.14 คือ 4.52-4.81% พบว่า การวัดค่า SOTE จากเทคนิคที่แตกต่างกันคือทั้ง เทคนิคการดูดซับและการคายการดูดซับให้ผลที่อยู่ในช่วงเดียวกัน

4.7 การทดสอบเครื่องเติมอากาศในถังทดสอบ

ศูนย์วิจัยฯ ได้ทำการทดสอบการวัดประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศในถังทดสอบทั้ง 2 ใบ โดยวัตถุประสงค์คือการเตรียมความพร้อมในการรับตรวจวัดประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศในน้ำสะอาด ตามข้อกำหนดในการทดสอบของศูนย์วิจัยฯ ซึ่งเป็นเทคนิคการดูดซับที่ใช้สารละลายโซเดียมซัลไฟท์ในการลดค่าออกซิเจนละลายให้เป็นศูนย์ก่อนที่จะเติมอากาศ เครื่องเติมอากาศที่เลือกใช้คือเครื่องเติมอากาศแบบ diffuser แสดงตามรูปที่ 4.16



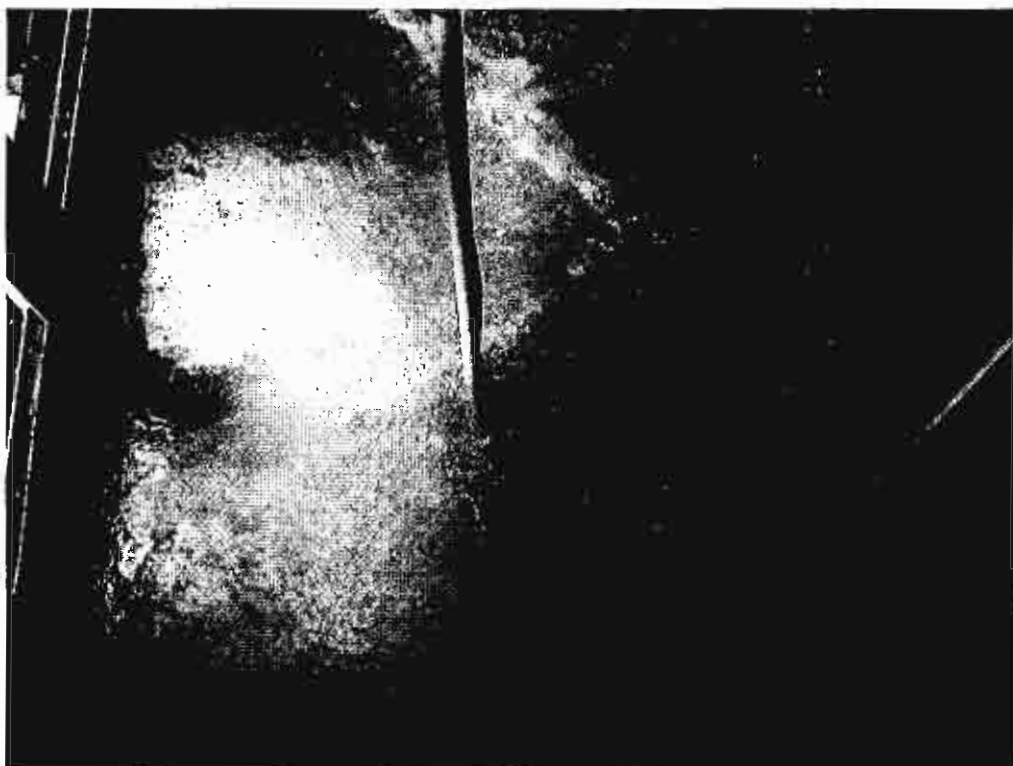
รูปที่ 4.16 การติดตั้ง diffuser จำนวน 8 หัวที่ถังทดสอบ 1.5x2x5 เมตร



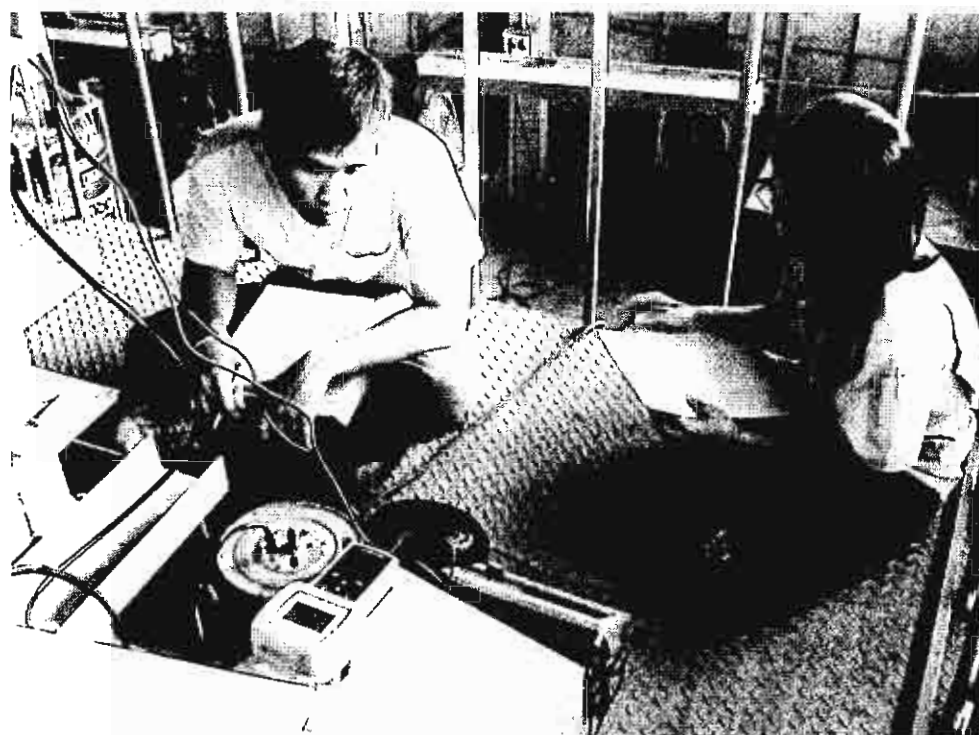
รูปที่ 4.17 การติดตั้งหัวอ่านออกซิเจนละลายที่ถังทดสอบ 1.5x2x5 เมตร



รูปที่ 4.18 การติดตั้งเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อวัดค่าออกซิเจนละลายที่ถังทดสอบ 1.5x2x5 เมตร



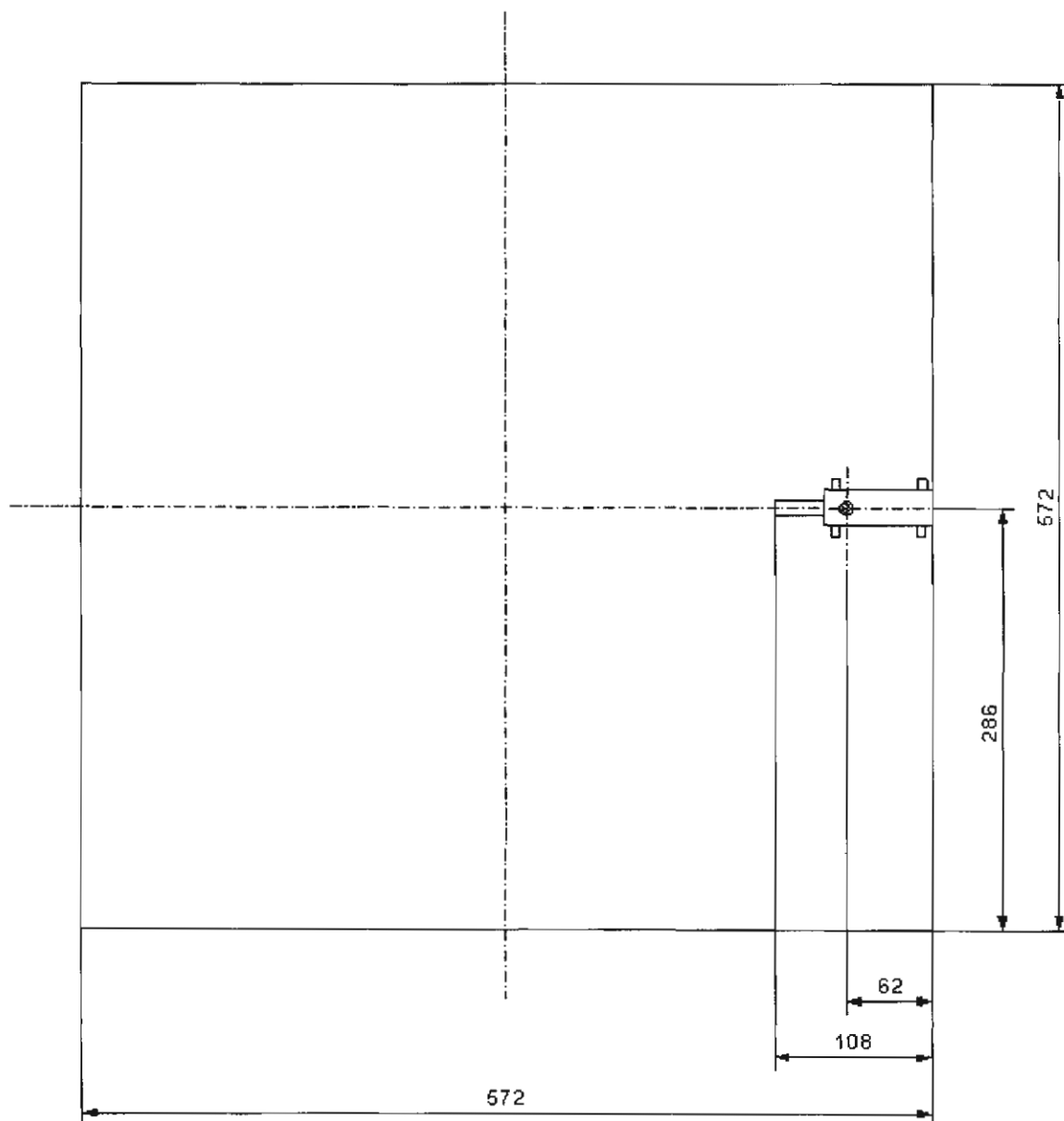
รูปที่ 4.19 พื้นผิวน้ำภายในถังทดสอบที่ติดตั้ง diffuser



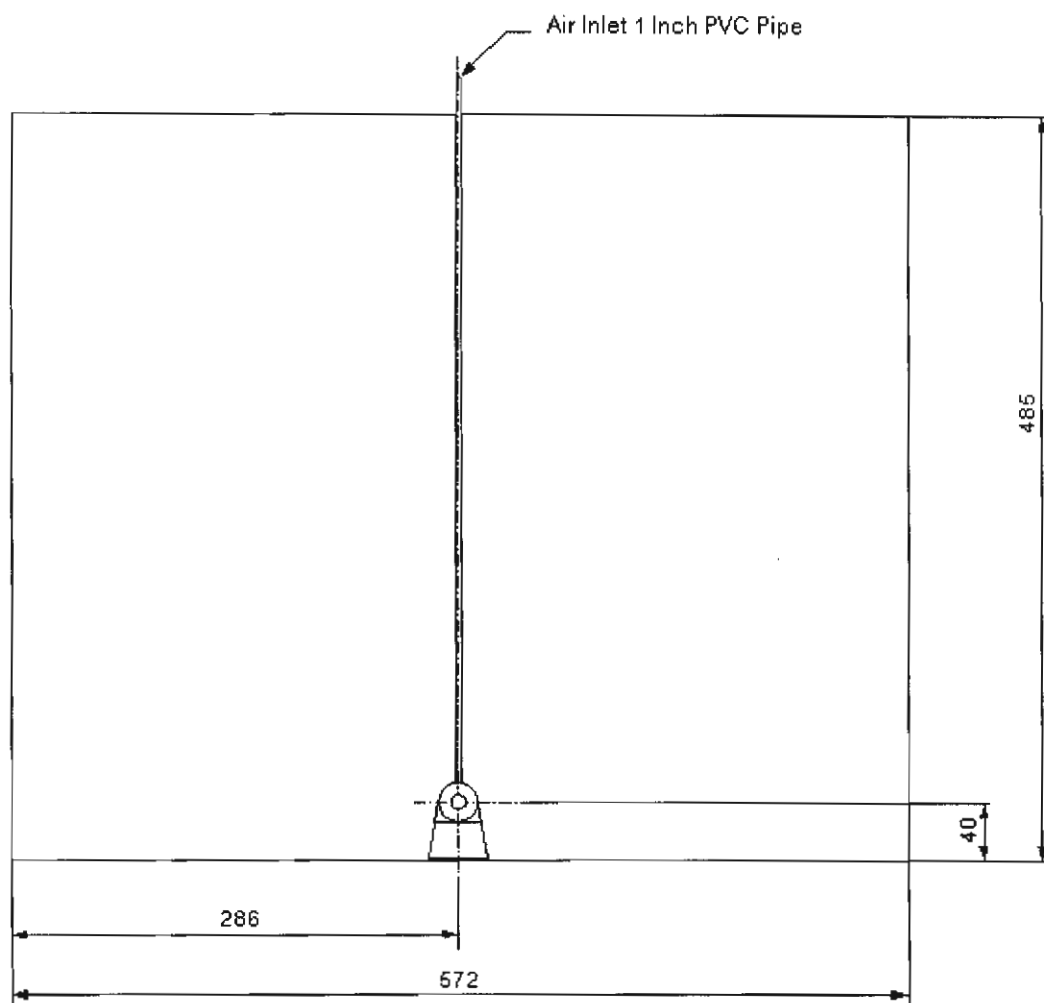
รูปที่ 4.20 การเก็บข้อมูลเหนือถังทดสอบ

4.8 การศึกษาไฮโดรไดนามิกส์ในถังทดสอบ

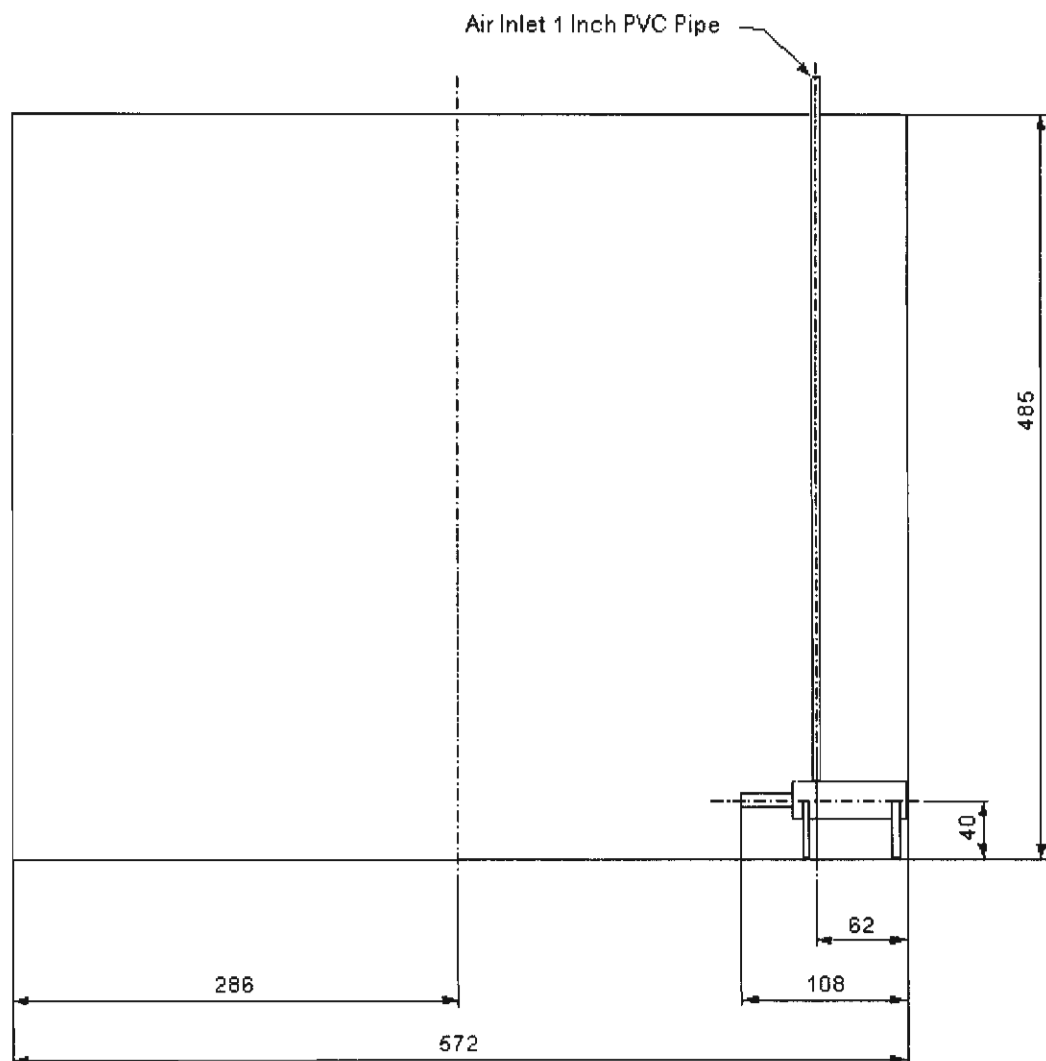
ศูนย์วิจัยฯ ได้ทำการทดสอบการวัดความเร็วน้ำในบ่อเติมอากาศขนาด 6x6x5 เมตร โดยการติดตั้งเครื่องเติมอากาศแบบเวนทูรี (venturi) ขนาด 1 แรงม้า แสดงขนาดและการติดตั้งตามรูปที่ 4.21 ถึงรูปที่ 4.23 และการทำงานตามรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.21 ภาพด้านบนการติดตั้งเครื่องเติมอากาศในบ่อทดสอบ(ความลึกน้ำ 3 เมตร)

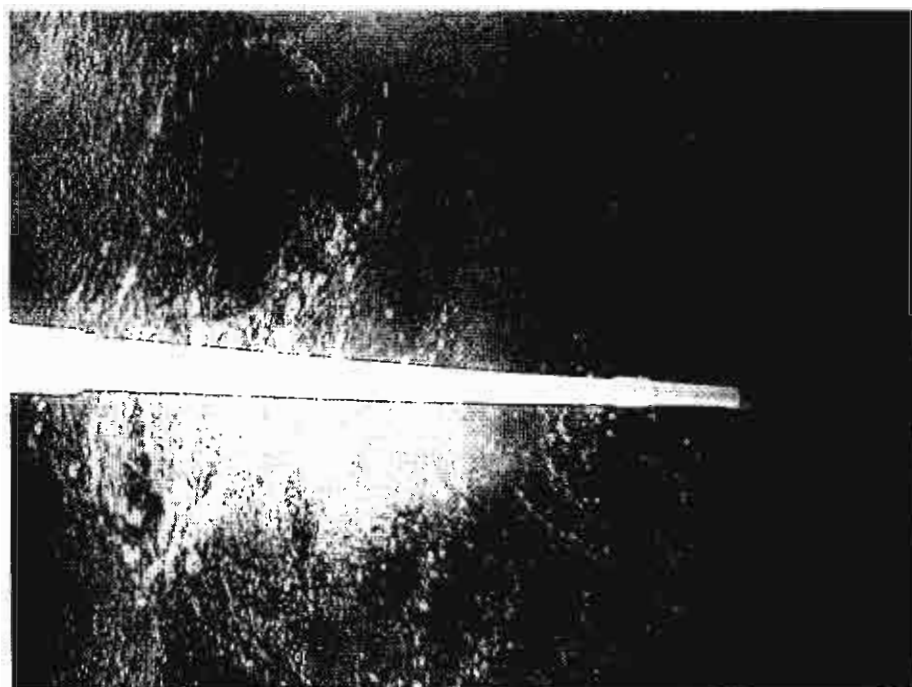


รูปที่ 4.22 ภาพด้านข้างการติดตั้งเครื่องเติมอากาศในบ่อทดสอบ(ความลึกน้ำ 3 เมตร)



รูปที่ 4.23 ภาพด้านหน้าการติดตั้งเครื่องเดิมอากาศในบ่อทดสอบ(ความลึกน้ำ 3 เมตร)

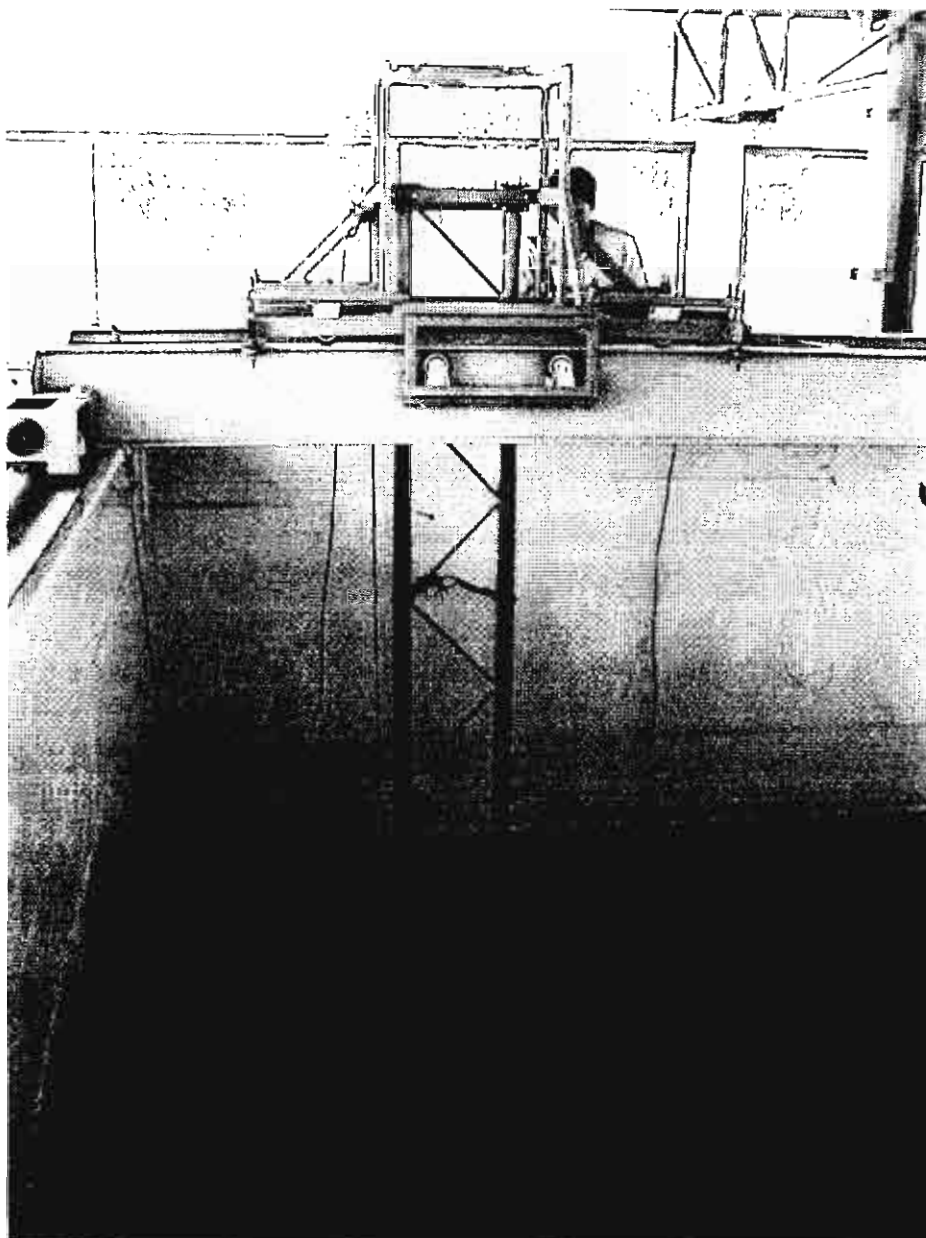
ในการตรวจวัดความเร็วน้ำจะใช้เครื่องวัดความเร็วน้ำ ศูนย์วิจัยได้จัดทำรางเลื่อนขึ้นมา 1 ชุด เพื่อใช้จับยึด sensor ให้สามารถเลื่อนไปยังตำแหน่งต่างๆของบ่อทดสอบ โดยรางเลื่อนแสดงตามรูปที่ 4.25 เป็นรางเลื่อนที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการจับยึด truss ยาว 6 เมตร(โดยประมาณ) แสดงตามรูปที่ 4.26 และหัววัดความเร็วน้ำจะถูกติดตั้งที่ปลาย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



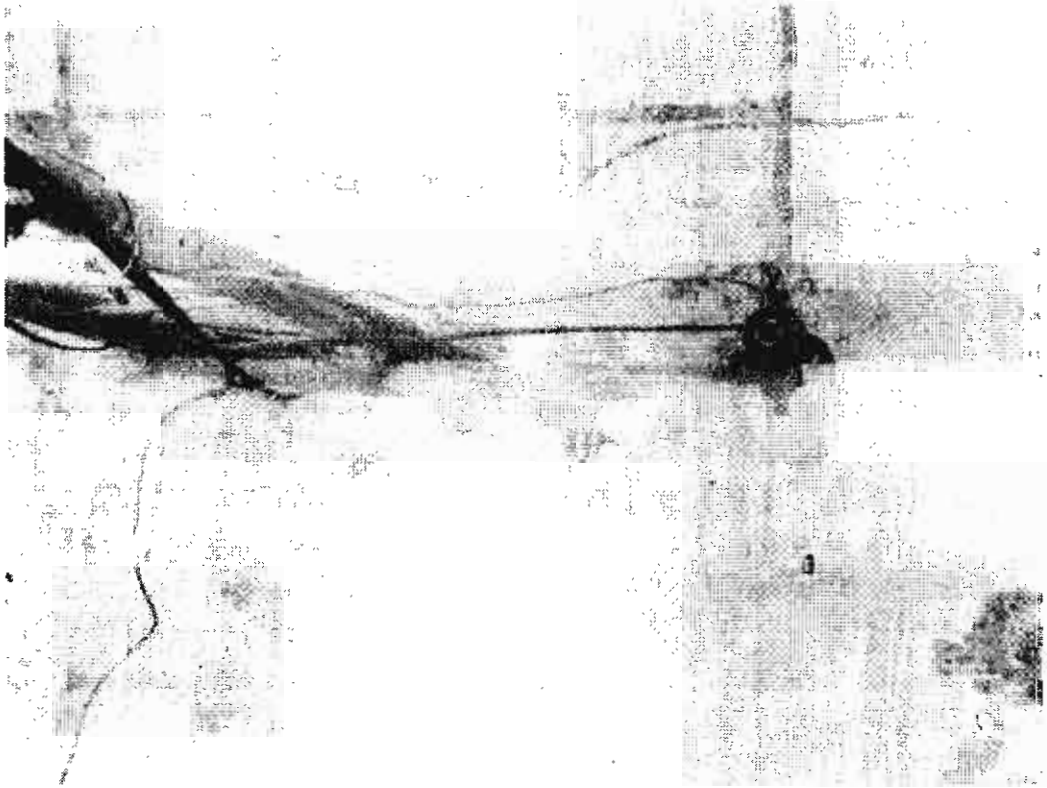
รูปที่ 4.24 เครื่องเดิมอากาศในขณะทำงาน



รูปที่ 4.25 เคนตัวล่างที่ใช้ติดตั้งอุปกรณ์หัววัดความเร็วน้ำ

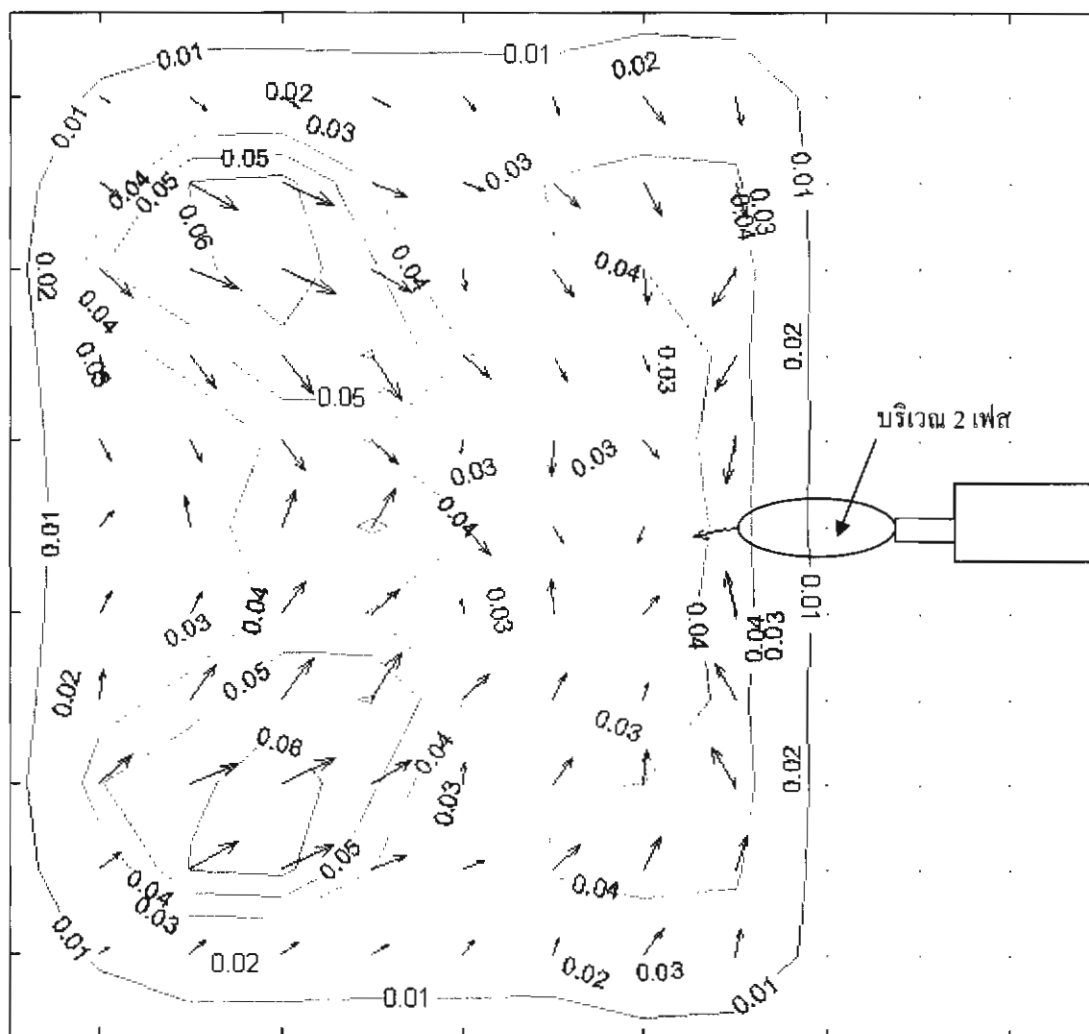


รูปที่ 4.26 การติดตั้ง truss กับแกนตัวถังเพื่อใช้ติดตั้งอุปกรณ์หัววัดความเร็วน้ำ



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



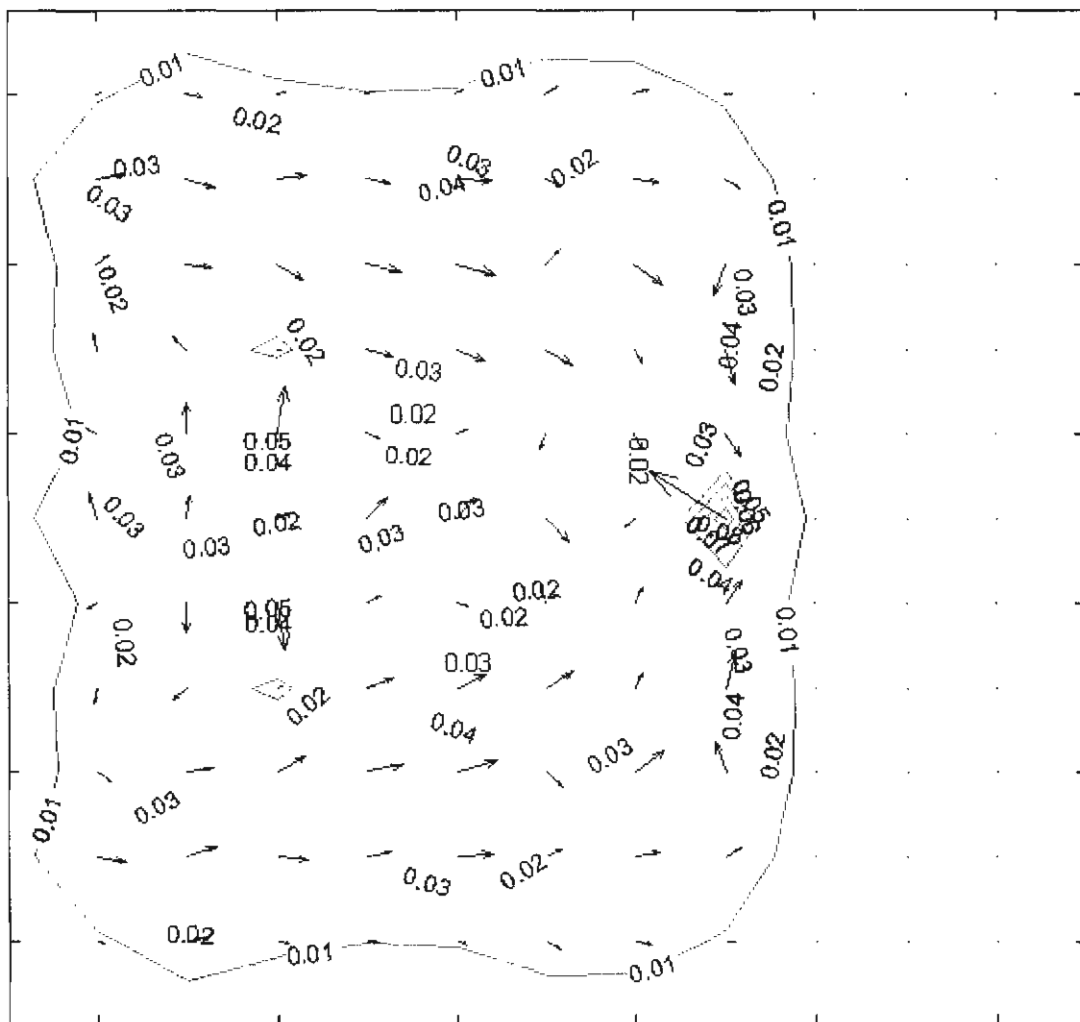
รูปที่ 4.28 ความเร็วบนแกน x-y ที่ระดับความสูงน้ำ 0.58 เมตรจากกันบ่อ(น้ำลึก 3.0 เมตร)

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

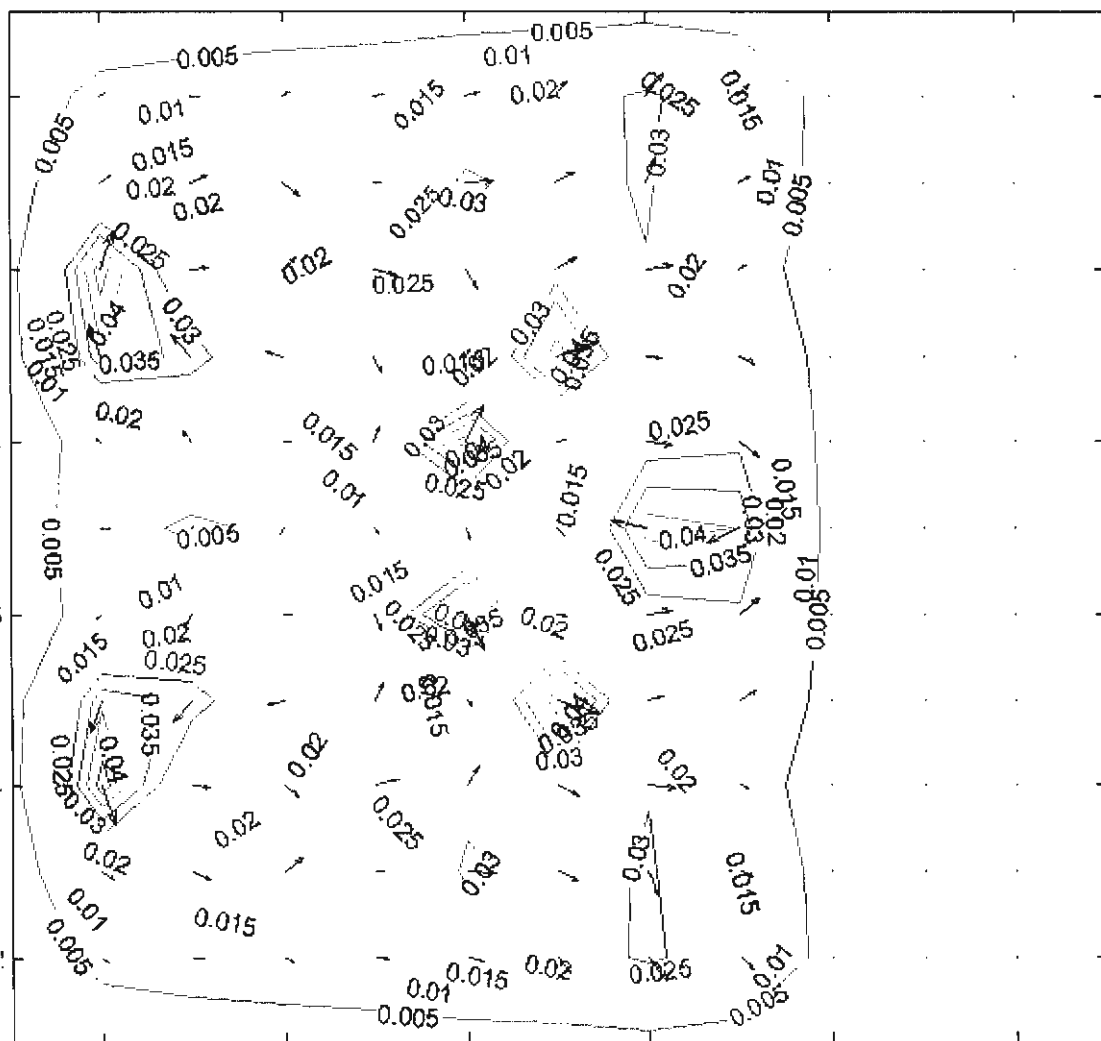
ของฟองอากาศ ทำให้น้ำที่อยู่ด้านหลังบริเวณ 2 เฟส เกิดการไหลเข้าไปแทนที่ จึงส่งผลให้เกิดทิศทางการไหลของน้ำไหลในทิศเข้าหาบริเวณ 2 เฟส

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



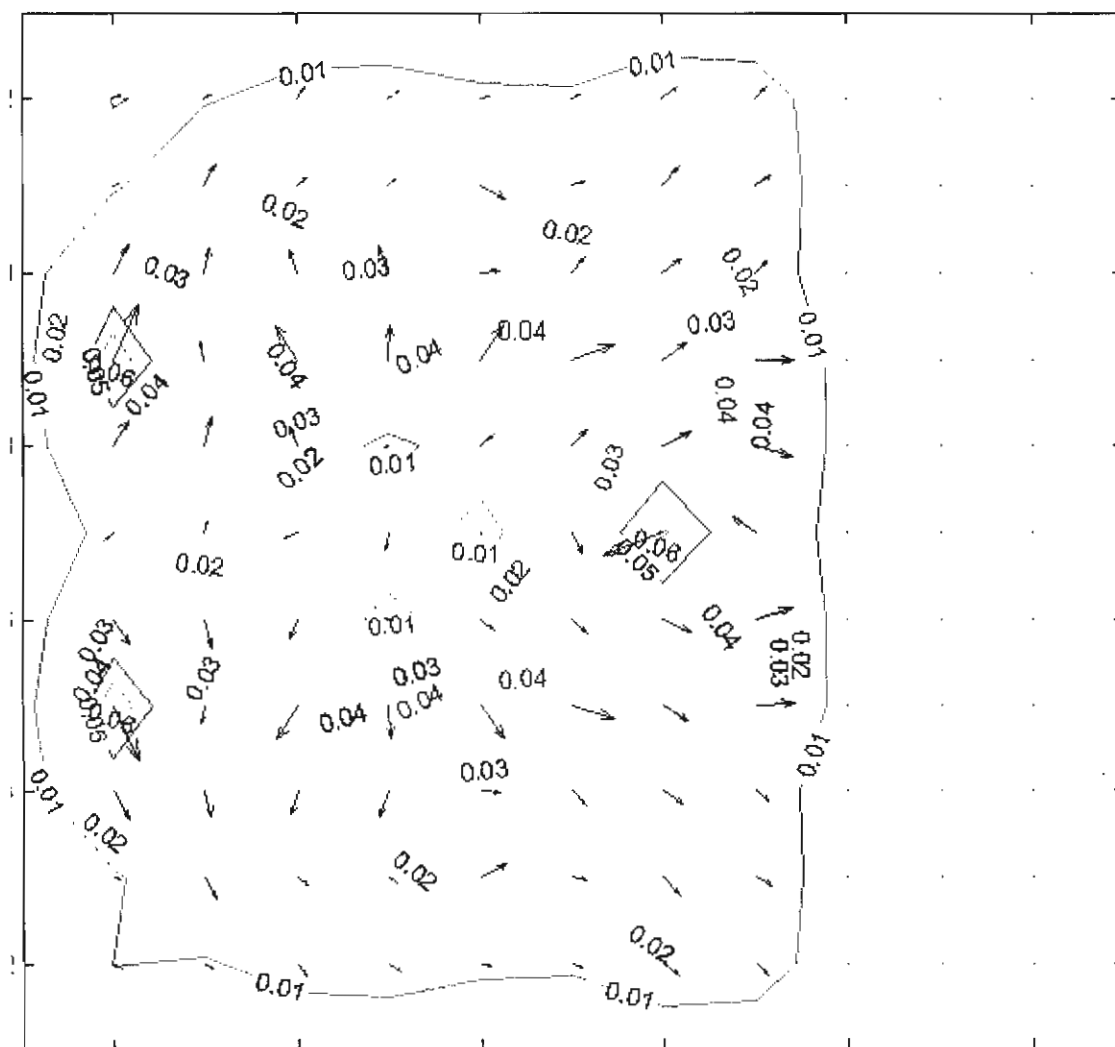
รูปที่ 4.29 ความเร็วบนแกน x-y ที่ระดับความสูงน้ำ 1.08 เมตรจากก้นบ่อ(น้ำลึก 3.0 เมตร)

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



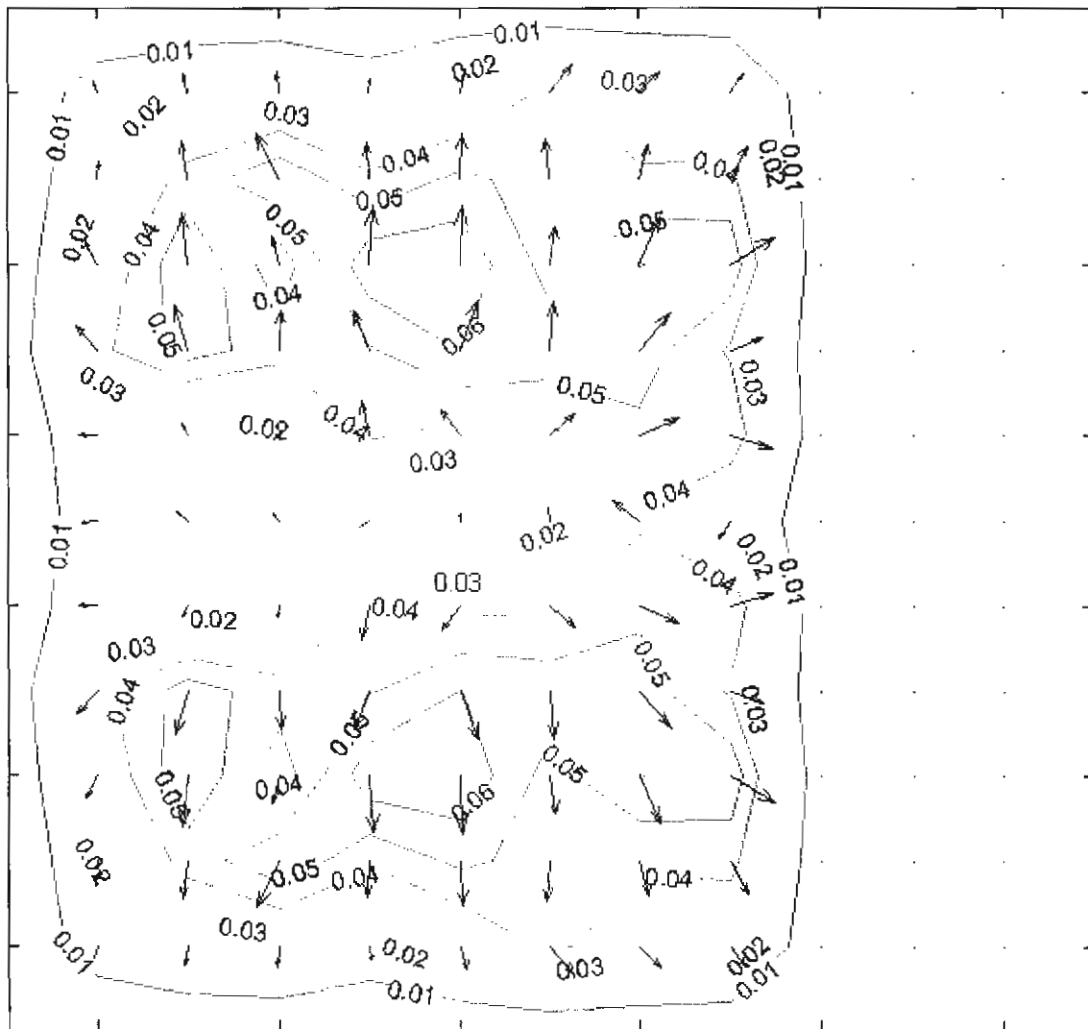
รูปที่ 4.30 ความเร็วบนแกน x-y ที่ระดับความสูงน้ำ 1.58 เมตรจากก้นบ่อ(น้ำลึก 3.0 เมตร)

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



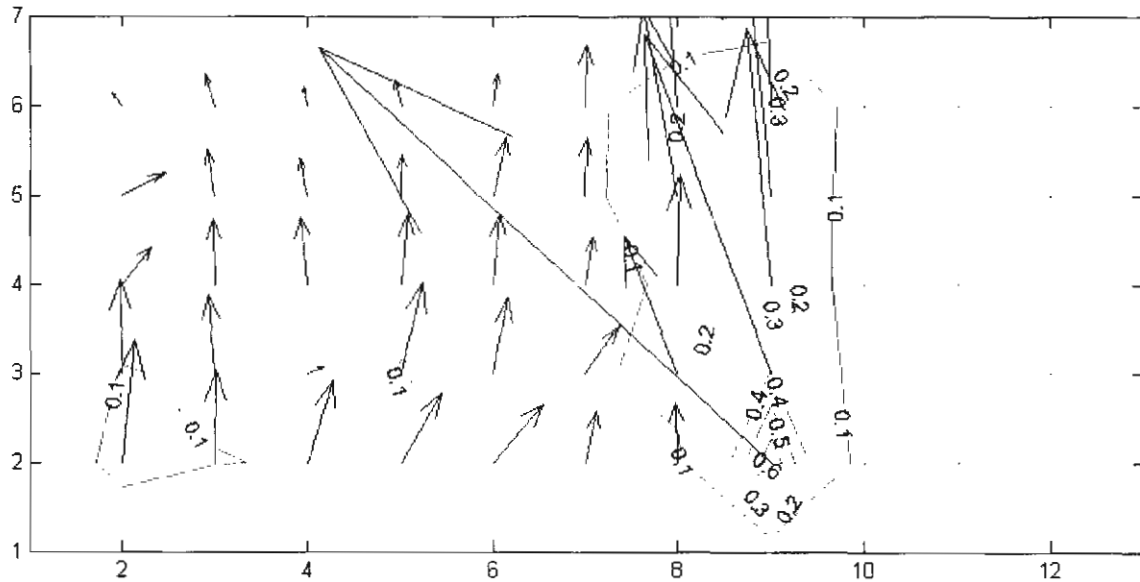
รูปที่ 4.31 ความเร็วบนแกน x-y ที่ระดับความสูงน้ำ 2.08 เมตรจากก้นบ่อ(น้ำลึก 3.0 เมตร)

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

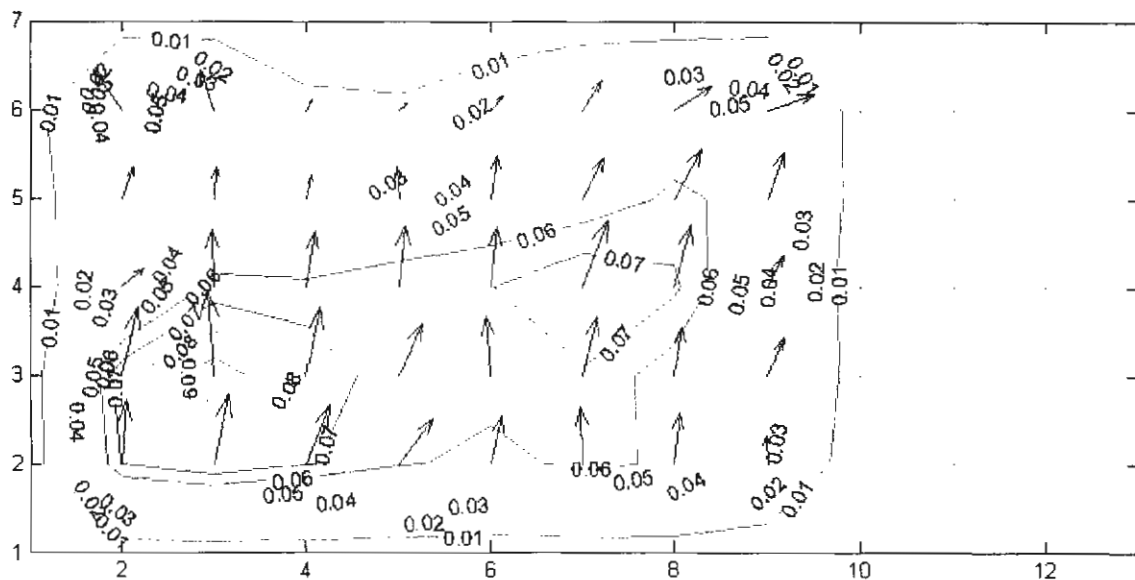


รูปที่ 4.32 ความเร็วบนแกน x-y ที่ระดับความสูงน้ำ 2.58 เมตรจากก้นบ่อ(น้ำลึก 3.0 เมตร)

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

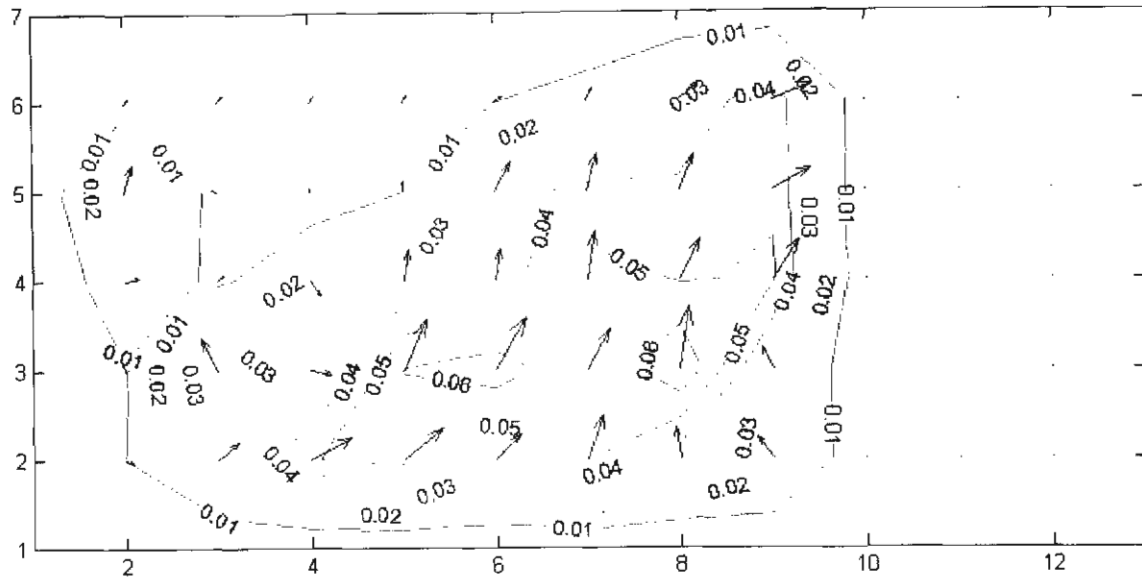


รูปที่ 4.33 ความเร็วบนแกน x-z ที่จุดกึ่งกลางบ่อ(น้ำลึก 3.0 เมตร)

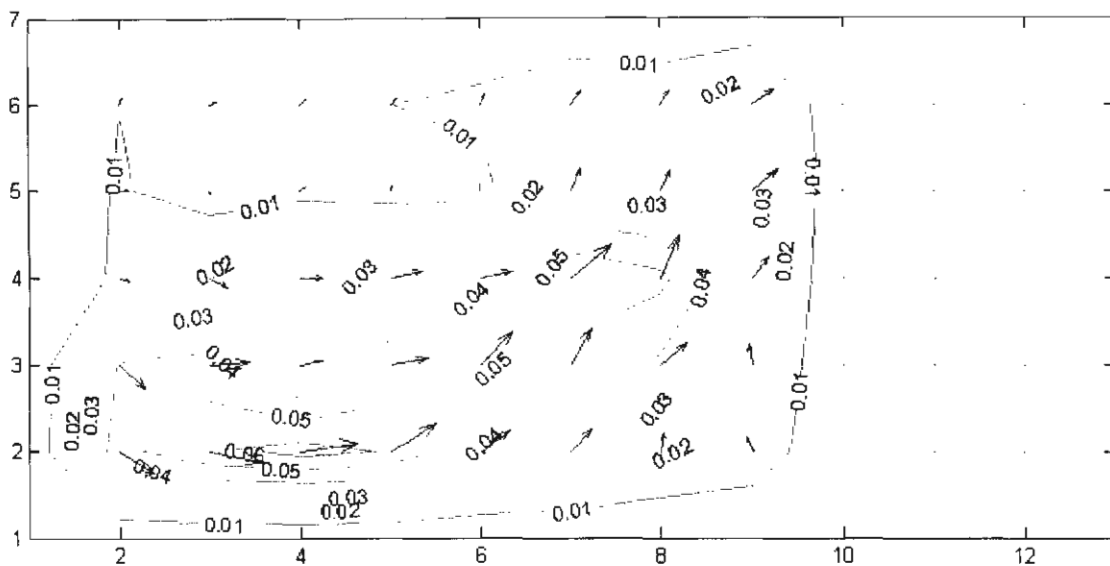


รูปที่ 4.34 ความเร็วบนแกน x-z ที่ห่างจากจุดกึ่งกลางบ่อ 0.5 เมตร(น้ำลึก 3.0 เมตร)

รูปที่ 4.33 และ รูปที่ 4.34 พบว่าความเร็วน้ำมีทิศพุ่งขึ้นสู่ผิวน้ำ โดยความเร็วที่ปลาย 2 เฟสมีค่าสูงมาก เนื่องจากบริเวณนี้จะเป็นจุดเปลี่ยนทิศทางการไหลของน้ำและฟองอากาศ

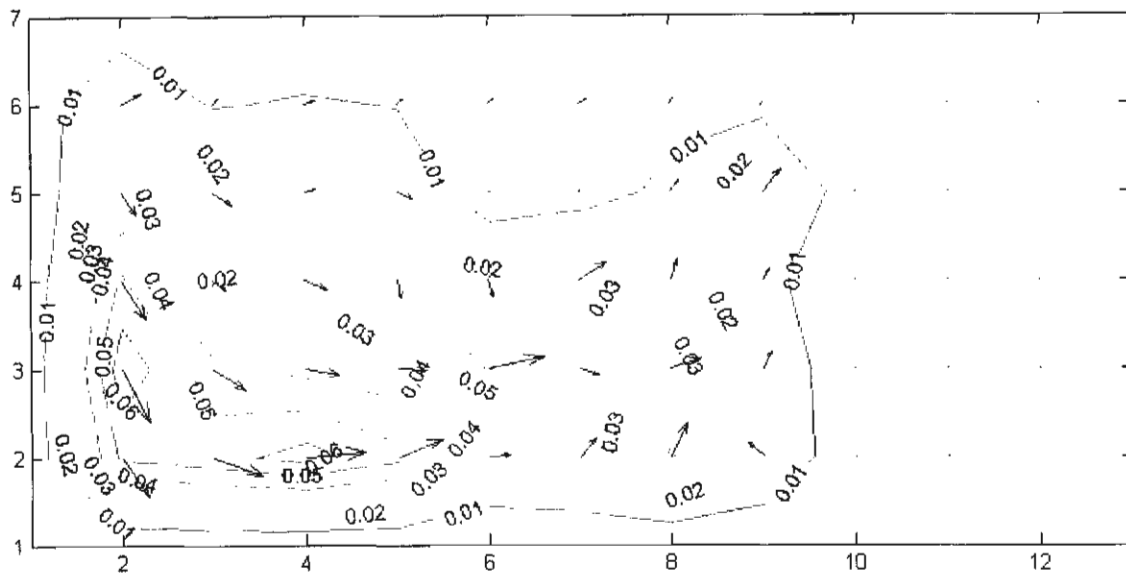


รูปที่ 4.35 ความเร็วบนแกน x-z ที่ห่างจากจุดกึ่งกลางบ่อ 1.0 เมตร(น้ำลึก 3.0 เมตร)

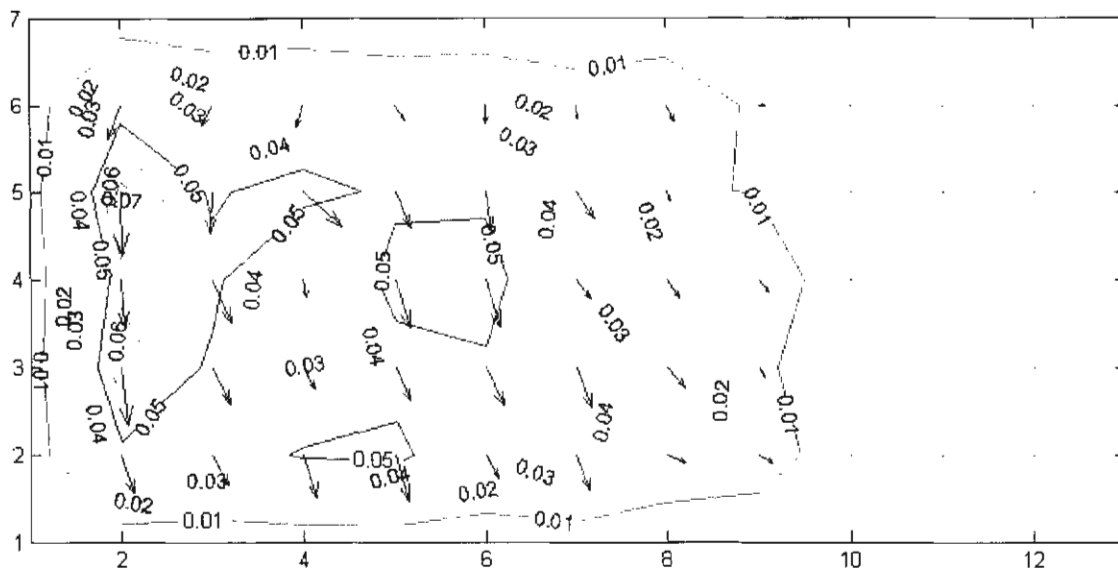


รูปที่ 4.36 ความเร็วบนแกน x-z ที่ห่างจากจุดกึ่งกลางบ่อ 1.5 เมตร(น้ำลึก 3.0 เมตร)

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)

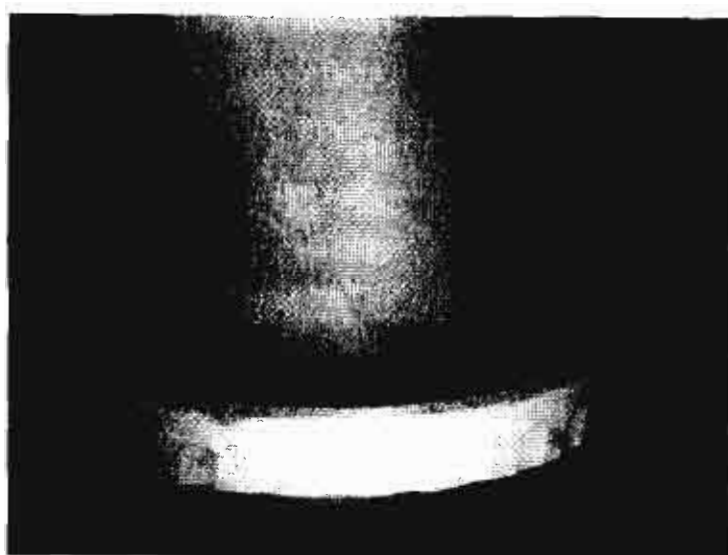
รูปที่ 4.37 พบว่าความเร็วน้ำ 2 ส่วน คือ มีทิศพุ่งขึ้นสู่ผิวหน้าในบริเวณใกล้กับ 2 เฟส และมีทิศสวนทางในแนวแกน x โดยที่ความเร็วใกล้พื้นบ่อจะไหลเร็วกว่าบริเวณที่อยู่ใกล้ผิวหน้า อย่างไรก็ตามในบริเวณใกล้ผิวหน้าพบว่าความเร็วตามแนวแกน x มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับรูปที่ 4.37

รูปที่ 4.38 พบว่าความเร็วน้ำส่วนใหญ่มีทางไหลลงไปสู่ก้นบ่อ และมีแนวโน้มน้ำไหลเข้าสู่บริเวณ 2 เฟส ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการไหลวนของน้ำ

4.9 การถ่ายภาพฟองอากาศ

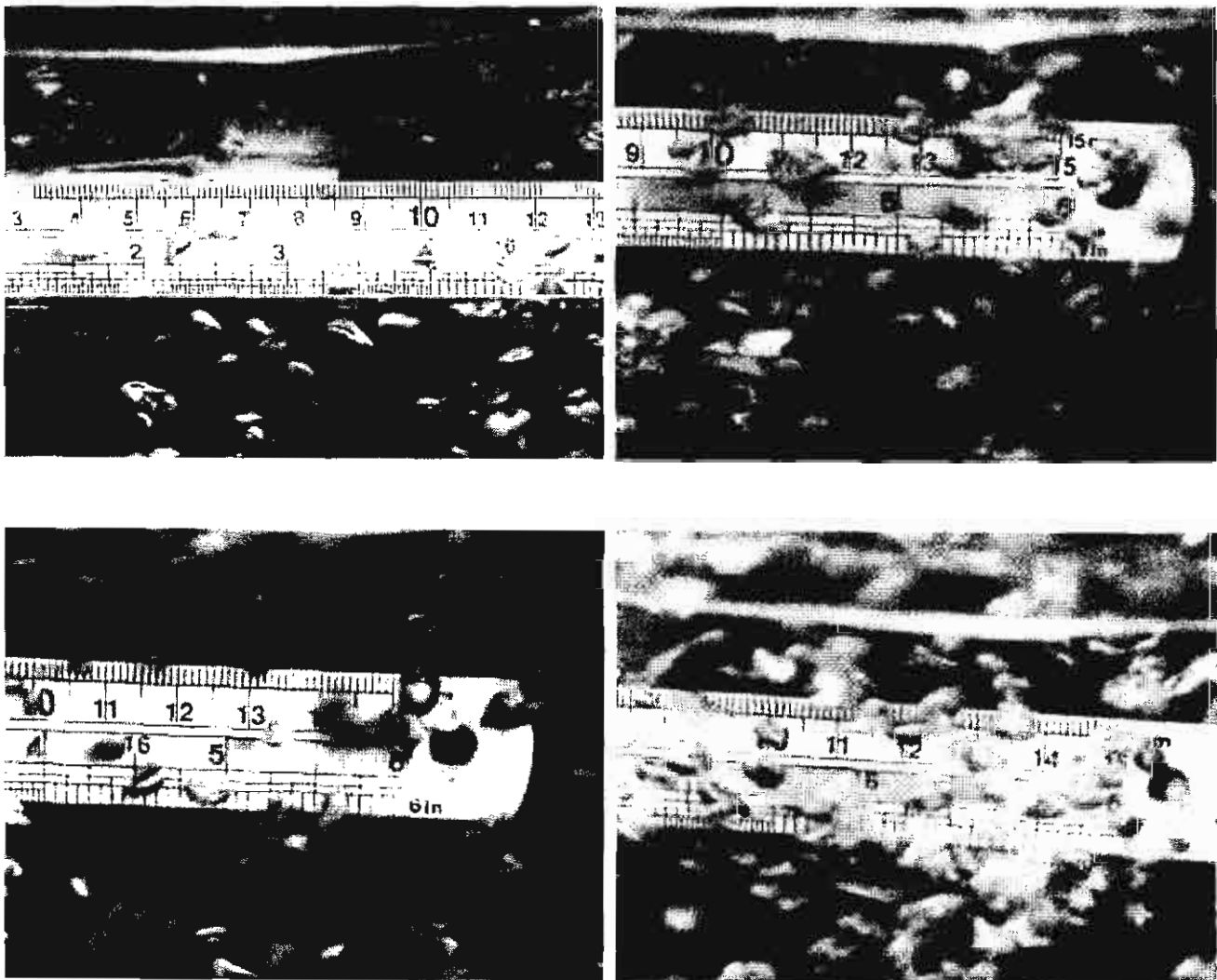
การถ่ายภาพฟองอากาศเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานนั้นสามารถทำได้โดยการใช้กล้องถ่ายภาพจาก หน้ากระจกของถังน้ำและการติดตั้งอุปกรณ์ได้น้ำ ศูนย์วิจัยฯ ได้ออกแบบและสร้างถังน้ำขนาด 1.5x2x5 เมตร ที่มีการติดช่องกระจกเพื่อการถ่ายภาพ โดยการถ่ายภาพได้น้ำมีประโยชน์อย่างมากในการศึกษาถึง พฤติกรรมการทำงานของเครื่องเติมอากาศให้แน่ใจว่าได้ทำงานถูกต้องตามการออกแบบ 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

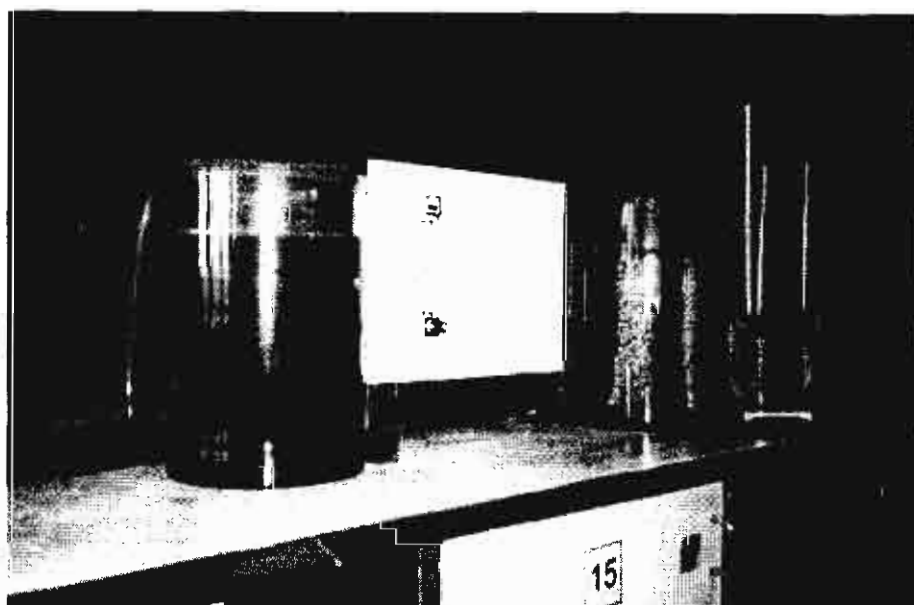


รูปที่ 4.40 ตัวอย่างฟองอากาศที่ถ่ายภาพบริเวณช่องกระจกที่ระดับความสูง 3.5 เมตร
(ระดับน้ำทดสอบ 4 เมตร)

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

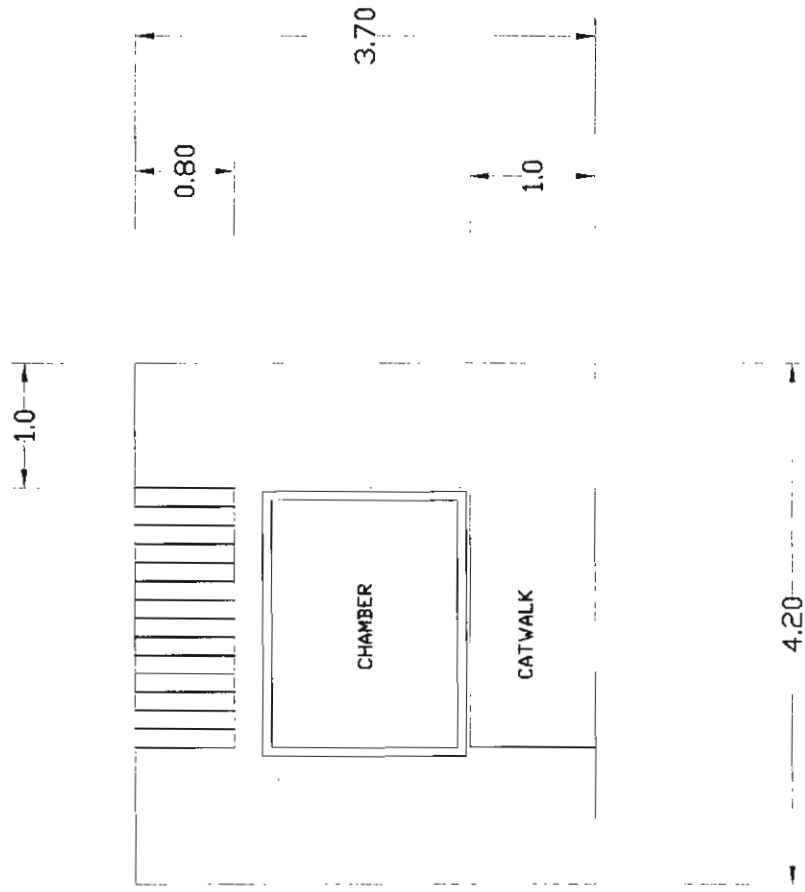
การตรวจวัดประสิทธิภาพเครื่องเดิมอากาศในน้ำกระบวนกรเป็นงานวิจัยที่ควรดำเนินการต่อเนื่องจากเครื่องเดิมอากาศส่วนใหญ่ถูกใช้งานในน้ำที่แตกต่างจากน้ำสะอาด ทำให้ทราบประสิทธิภาพที่แท้จริง อีกทั้งยังเป็นการรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการออกแบบที่ถูกต้อง

ควรมีการยกย่องมาตรฐานการทดสอบเครื่องเดิมอากาศให้เกิดขึ้นในประเทศ เพื่อให้การทดสอบเป็นบรรทัดฐานเดียวกัน

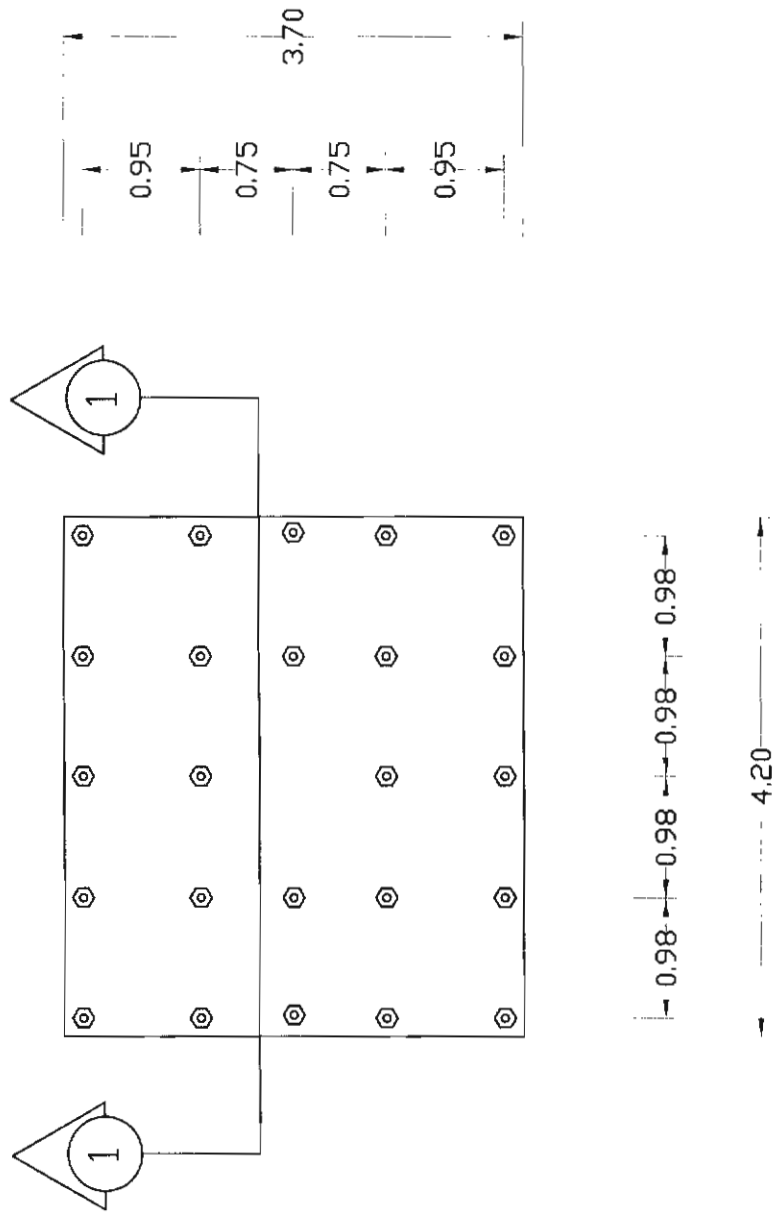
เอกสารอ้างอิง

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.

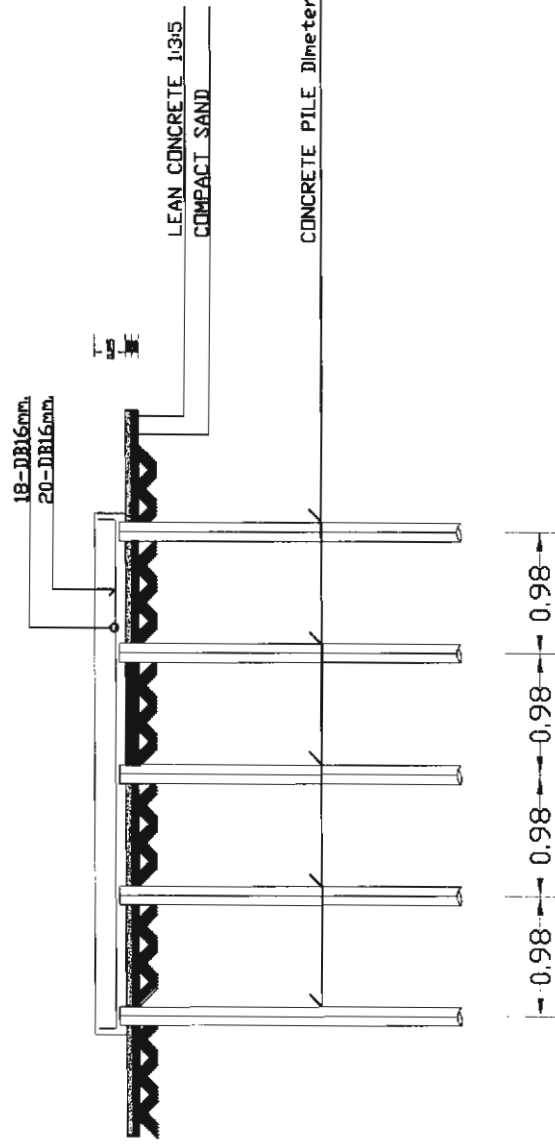
ภาคผนวก ก



PLAN



PLAN

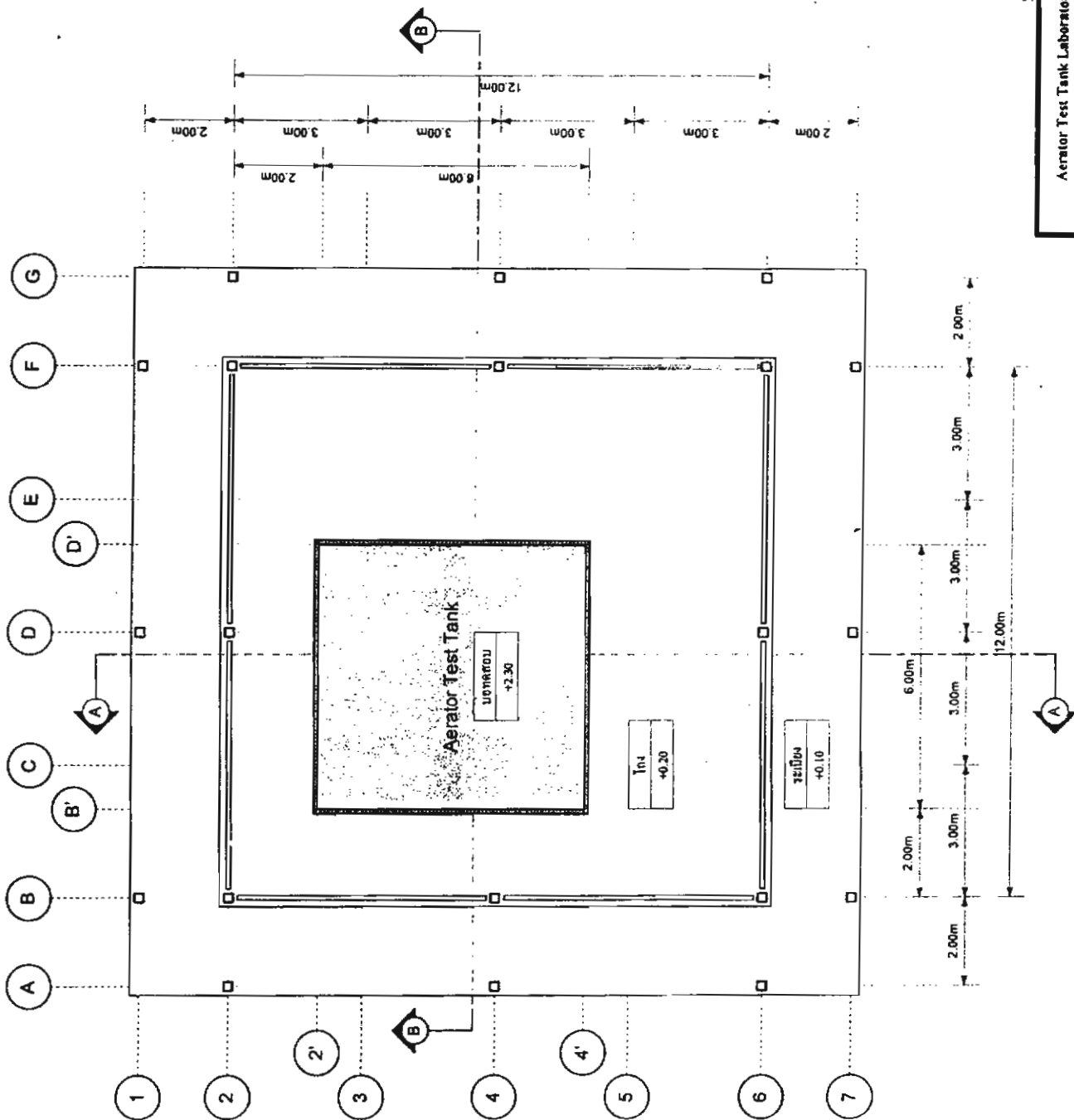


SECTION 1-1



Aerator Test Tank Laboratory

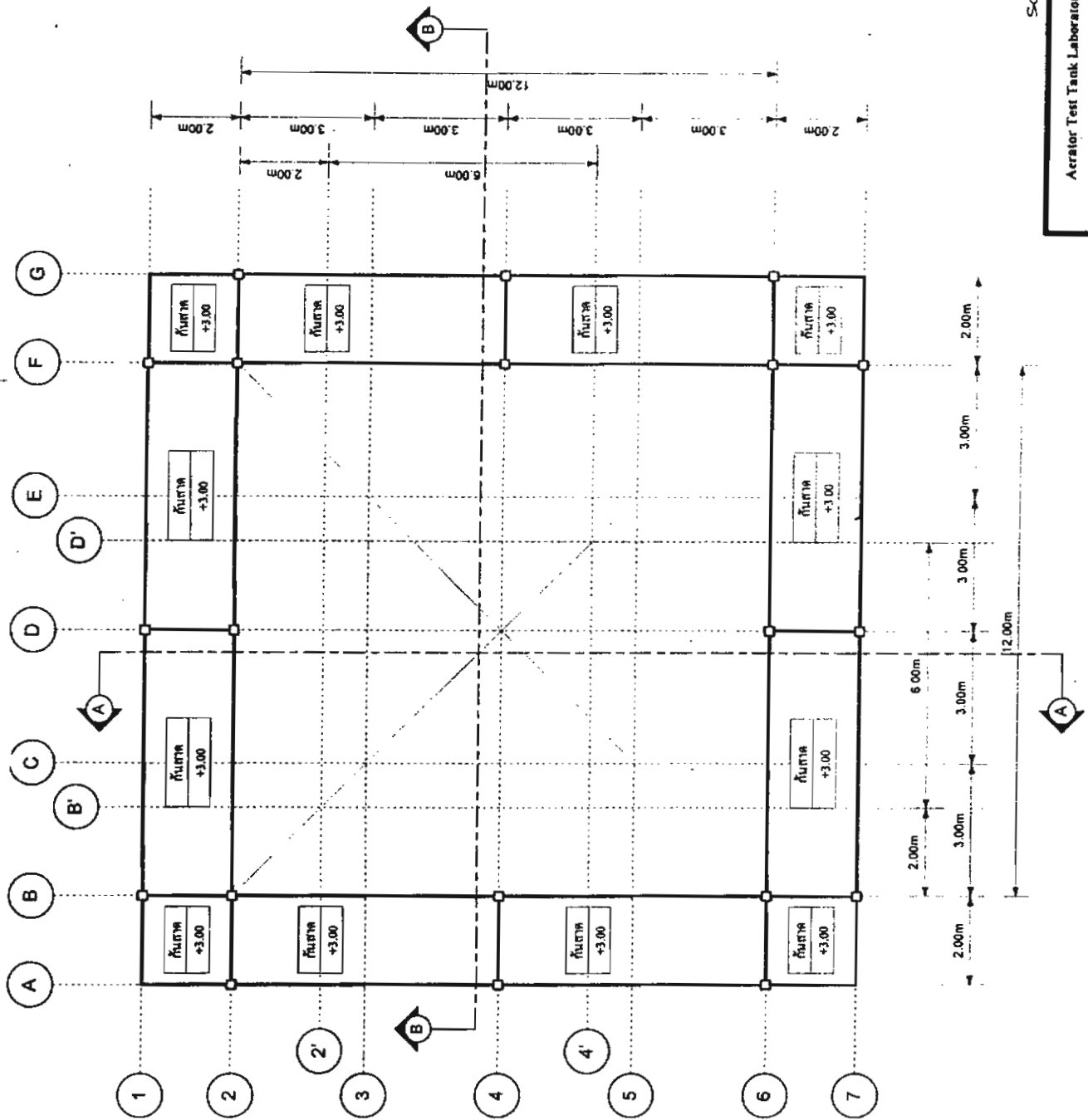
King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok (Prajinburi)



SCALE 1:100

Aerator Test Tank Laboratory, KMITNB (Prachinburi)

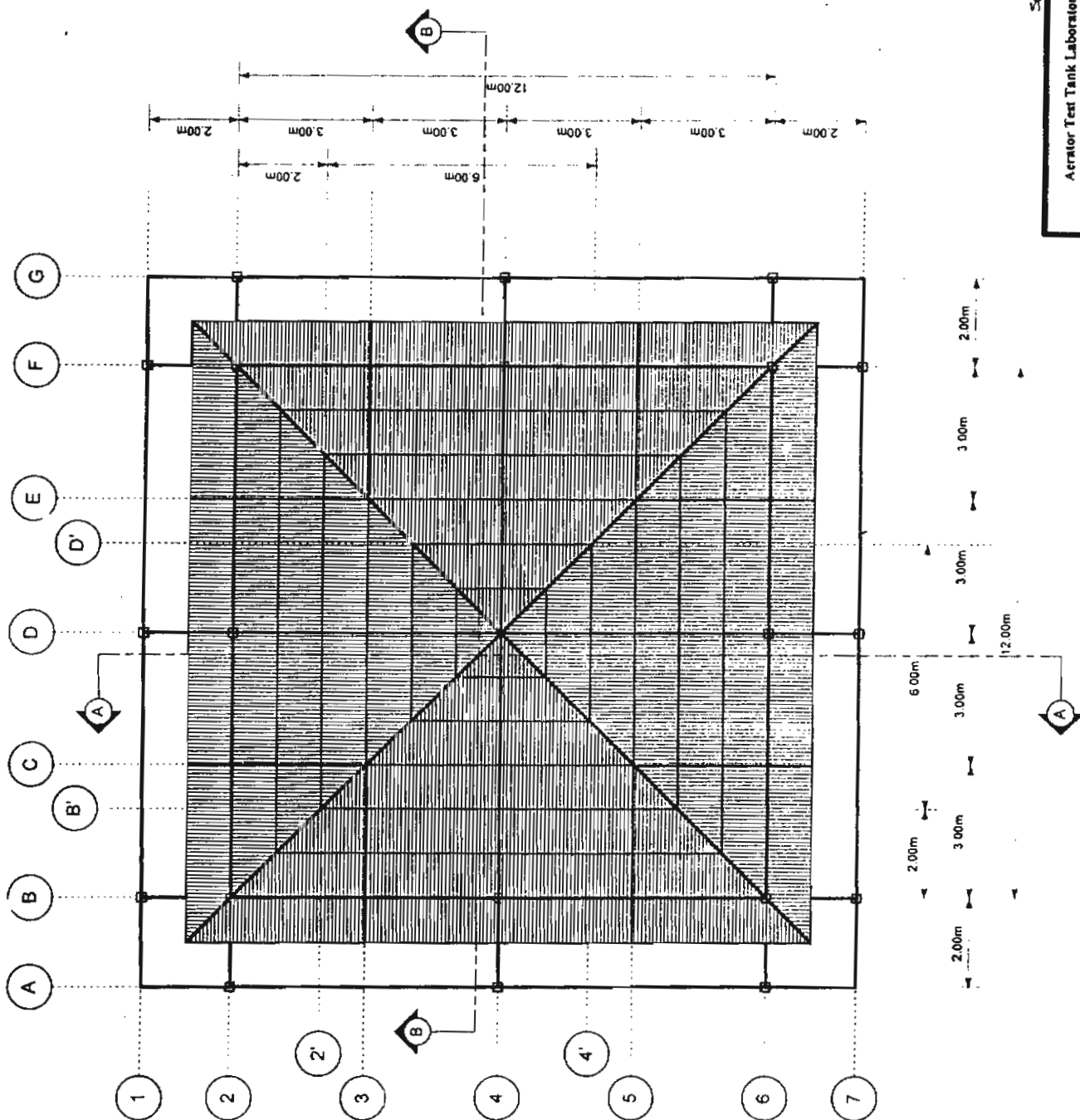
Drawing Title:	แปลนพื้นที่	Drawing No:
Location:	KMITNB Prachinburi	
Owner:	พระยาภิรมย์ภักดี	
Structural Engineer:	นาย ธรรมศักดิ์ ธรรม (ภพ 21396)	



SCALE 1:100

Aerator Test Tank Laboratory, KMITNB (Prachinburi)

Drawing Title:	โครงการ	Drawing No:	
Location:	KMITNB Prachinburi	Owner:	บริษัท อุตสาหกรรม
Structural Engineer:	นาย อดิศักดิ์ (ร. 21396)		



SCALE 1:100

Accrator Test Tank Laboratory, KMITNB (Prajinburi)

Drawing Title

แปลแบบ

Location

KMITNB Prajinburi

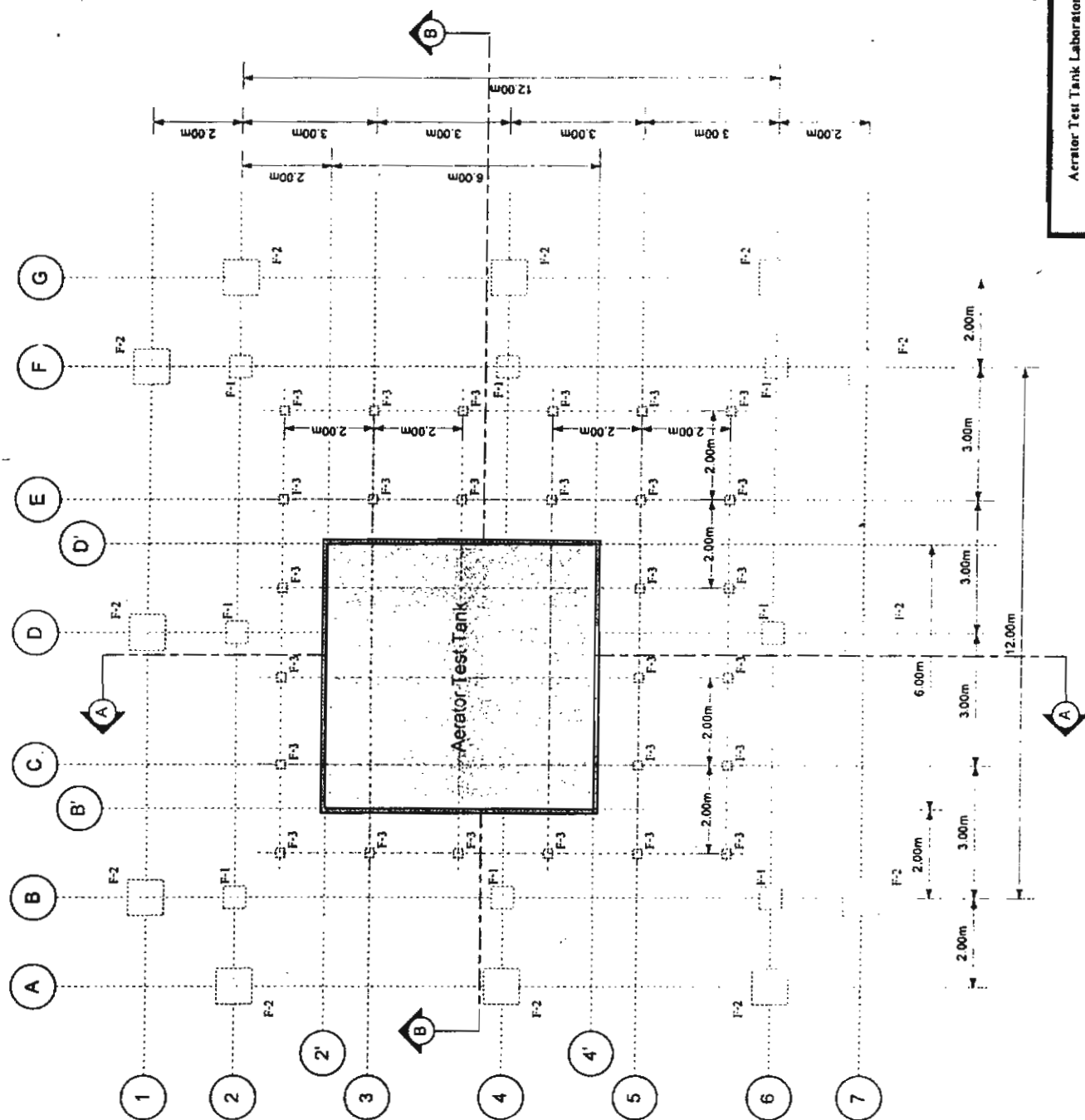
Owner

ดร. สุวิทย์ นันทิพนธ์

Structural Engineer

ใบอนุญาตประกอบวิชาชีพ (ร.บ. 3196)

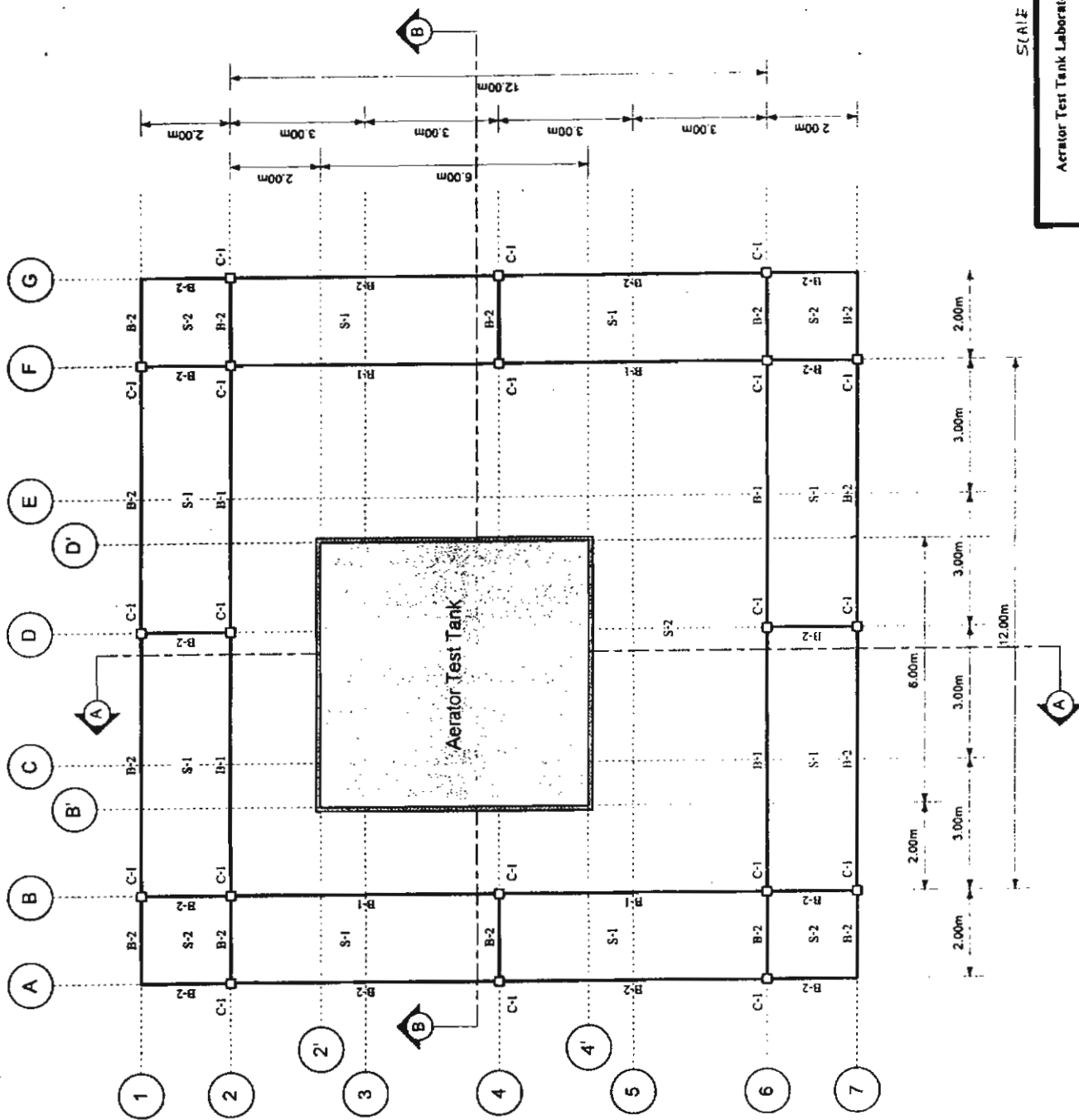
Drawing No



SCALE 1:100

Aerator Test Tank Laboratory, KMITNB (Prachinburi)

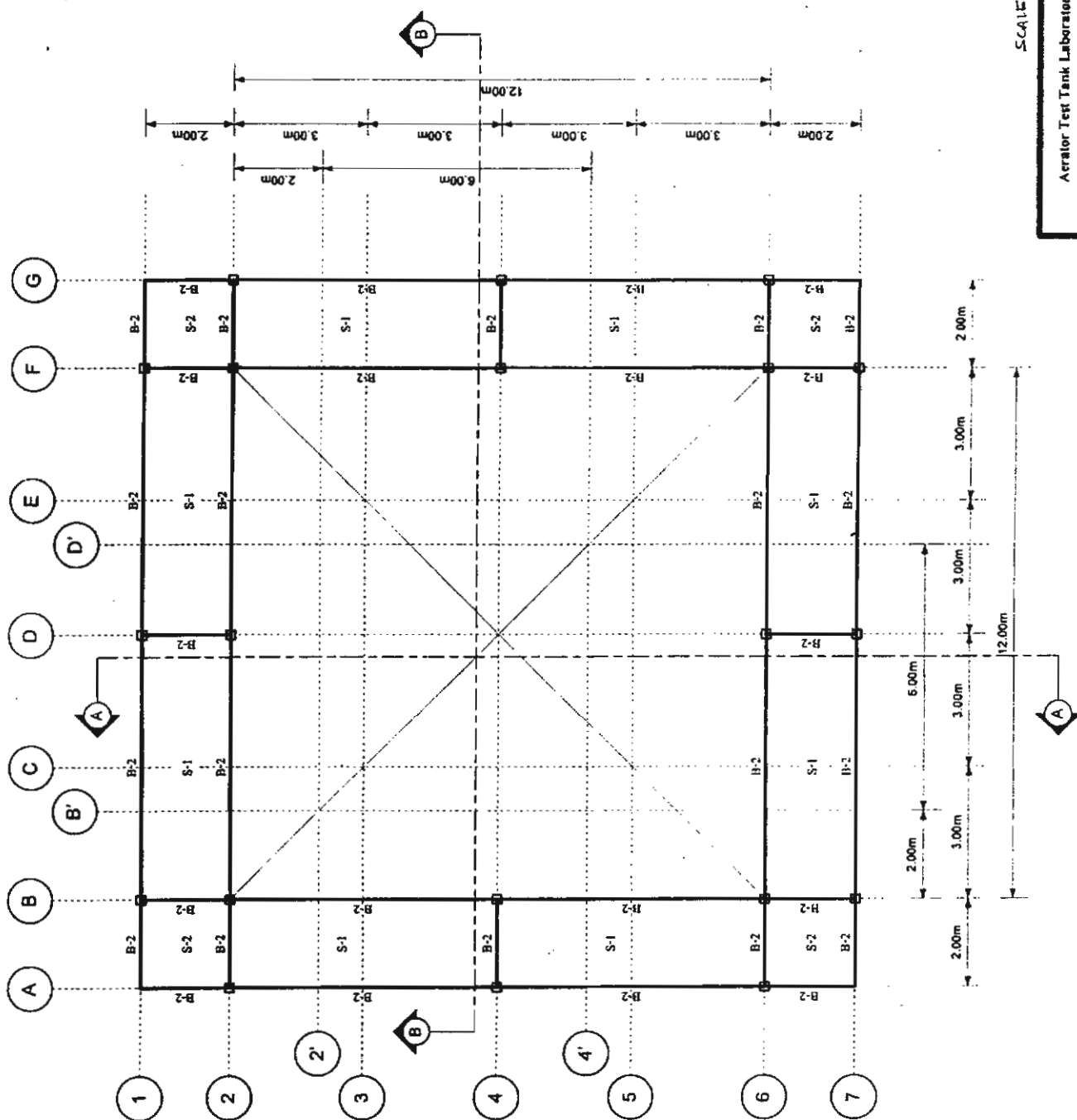
Drawing Title:	โครงการใน	Drawn: N
Location:	KMITNB Prachinburi	
Owner:	สว. วิทยา วัฒนศิริ	
Structural Engineer:	น.ส. อรุณรัตน์ อ. (21396)	



SCALE 1:100

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

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



SCALE 1:100

Accrator Test Tank Laboratory, KMITNB (Prachinburi)

Drawing Title:

แผนผังอาคาร

Drawing No:

Location:

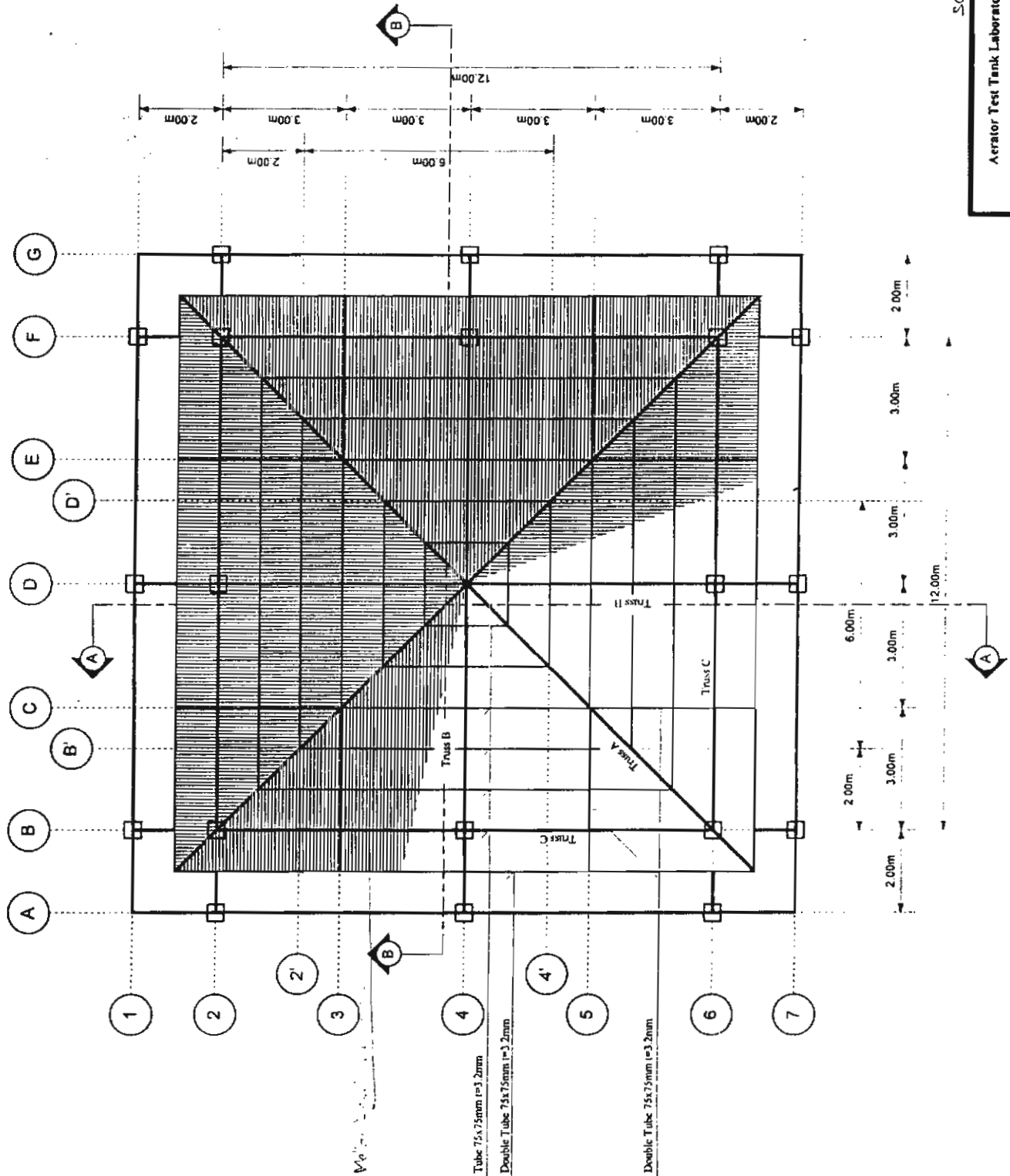
KMITNB Prachinburi

Drawn by:

นางสาวกัญญา คุ้มทรัพย์

Structural Engineer

วันที่ ๒๖ ตุลาคม ๒๕๖๓ (๒๖/๑๐/๖๓)

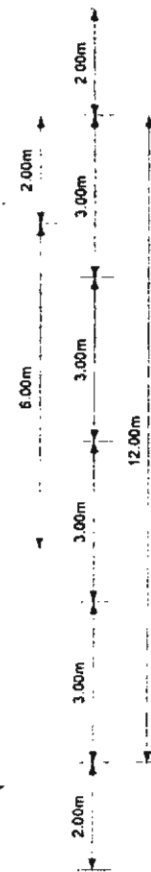
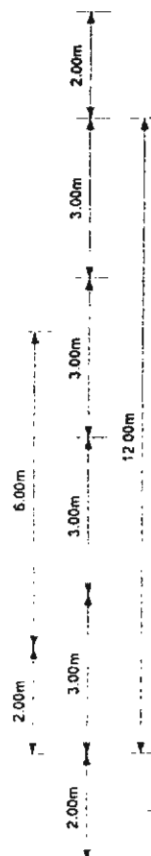
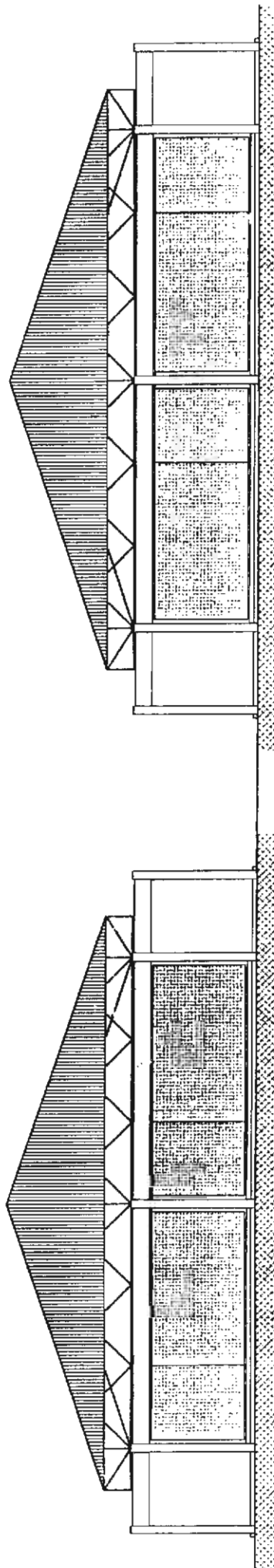


SCALE 1:100

Aerator Test Tank Laboratory, KMITNB (Prajiburi)

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

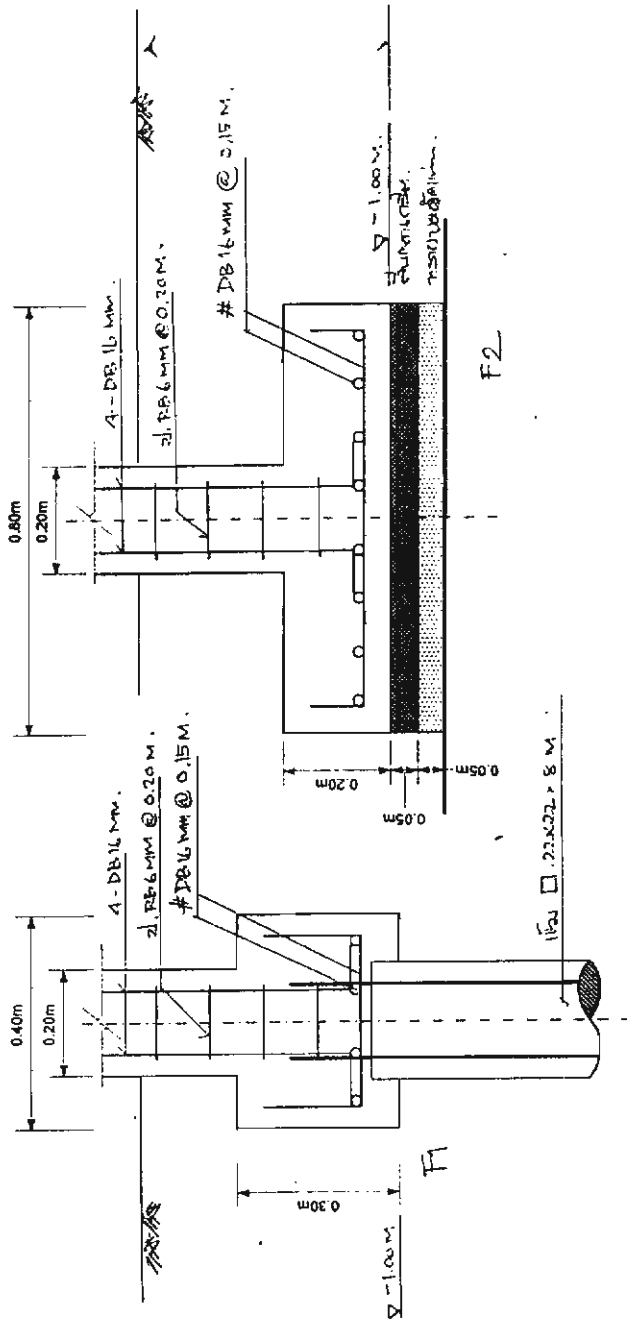
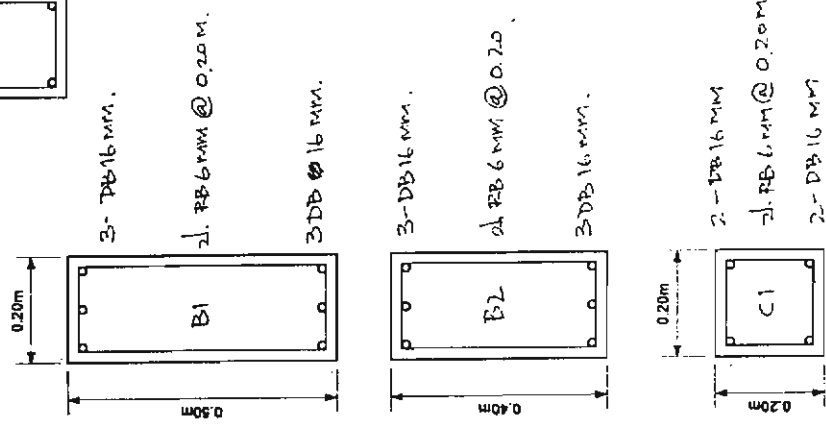
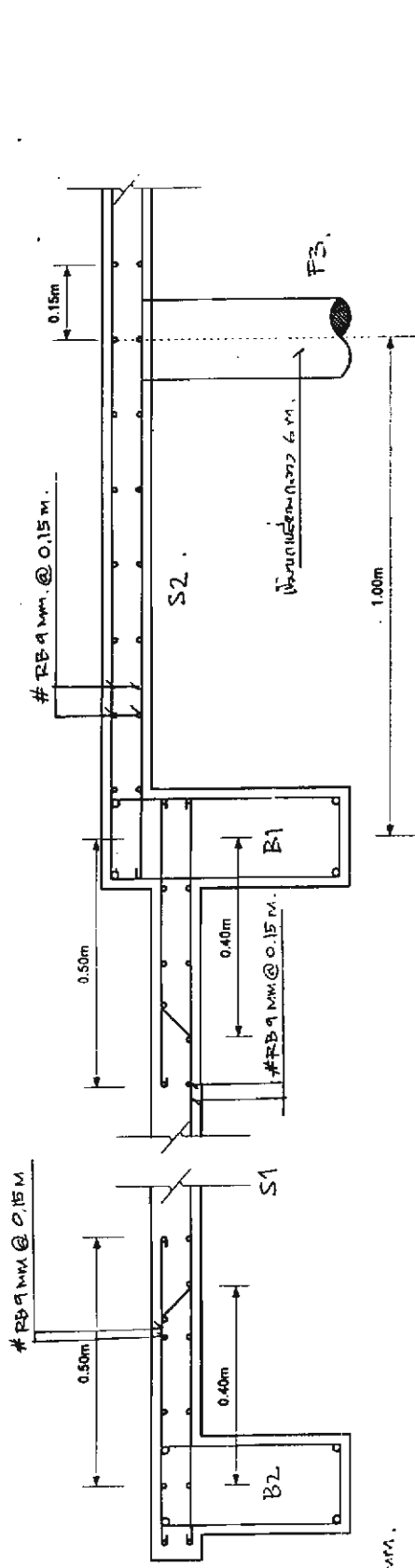
A B C D E F G
 B' D' 2' 1
 4' 2



SCALE 1:100

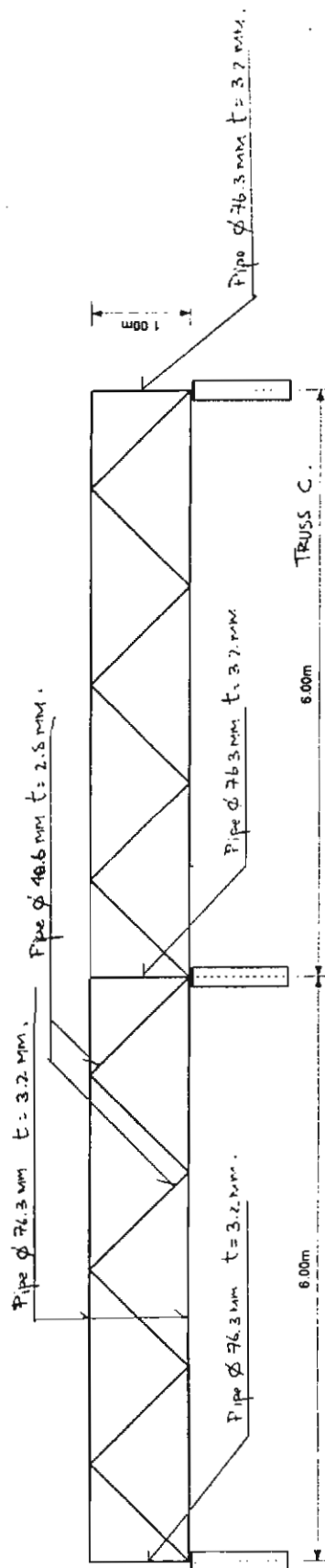
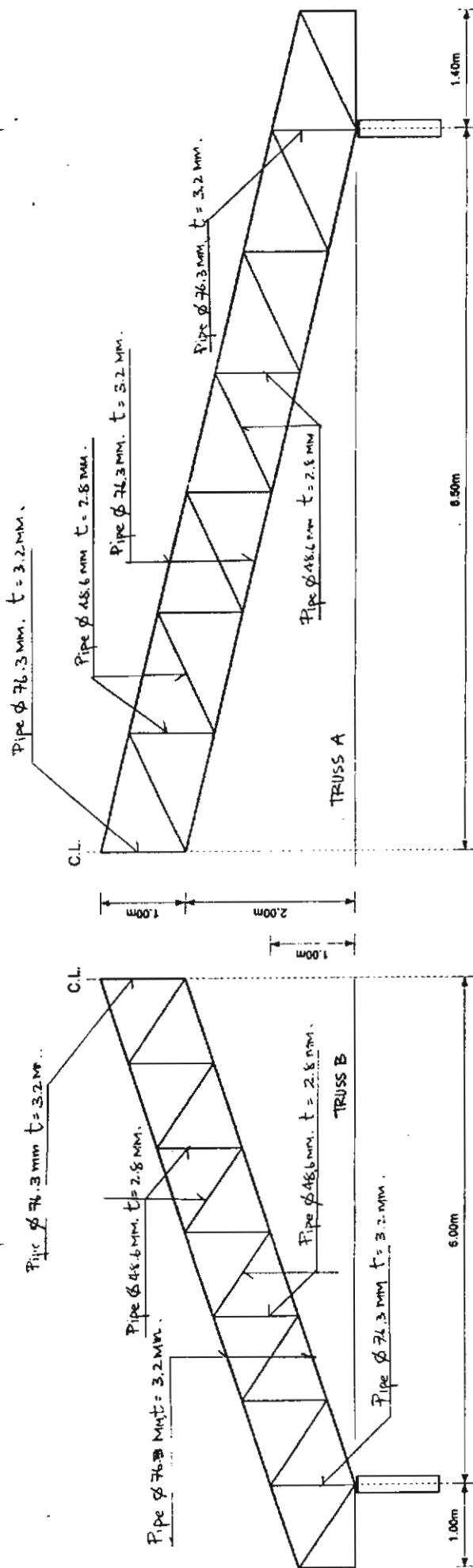
Aerator Test Tank Laboratory, KMITNB (Prachinburi)

Drawing Title :	ปฏิทิน	Drawing N
Location :	KMITNB Prachinburi	
Owner :	บริษัท อุตสาหกรรม	
Structural Engineer :	บริษัท อุตสาหกรรม (๒๕ ๒ ๒๕๖๖)	



SCALE 1:10

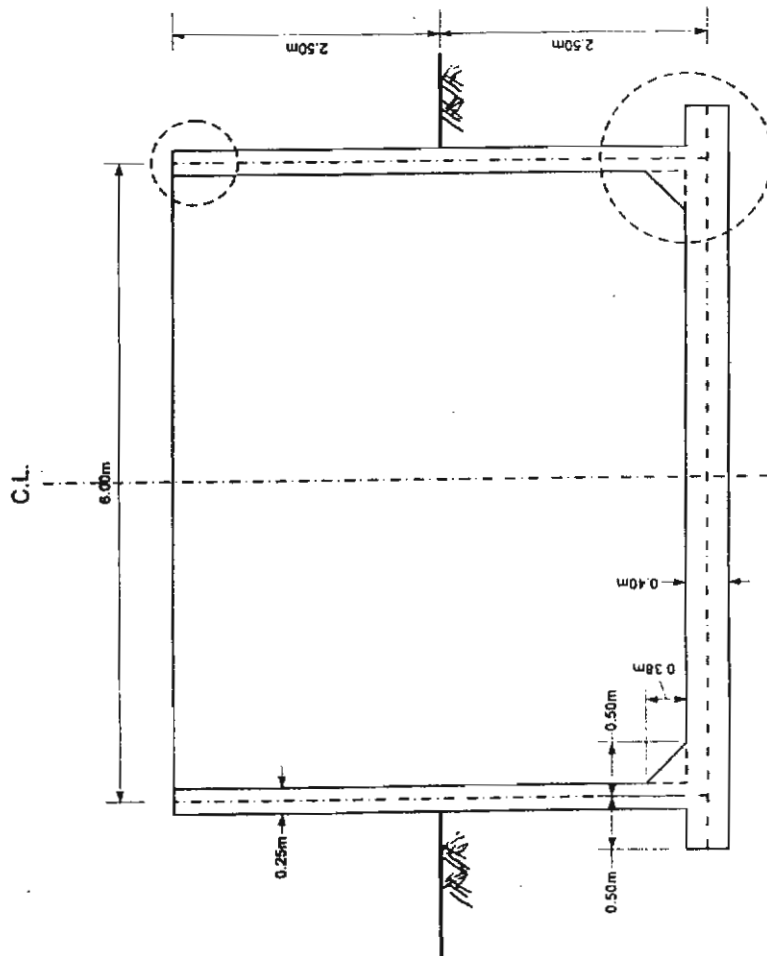
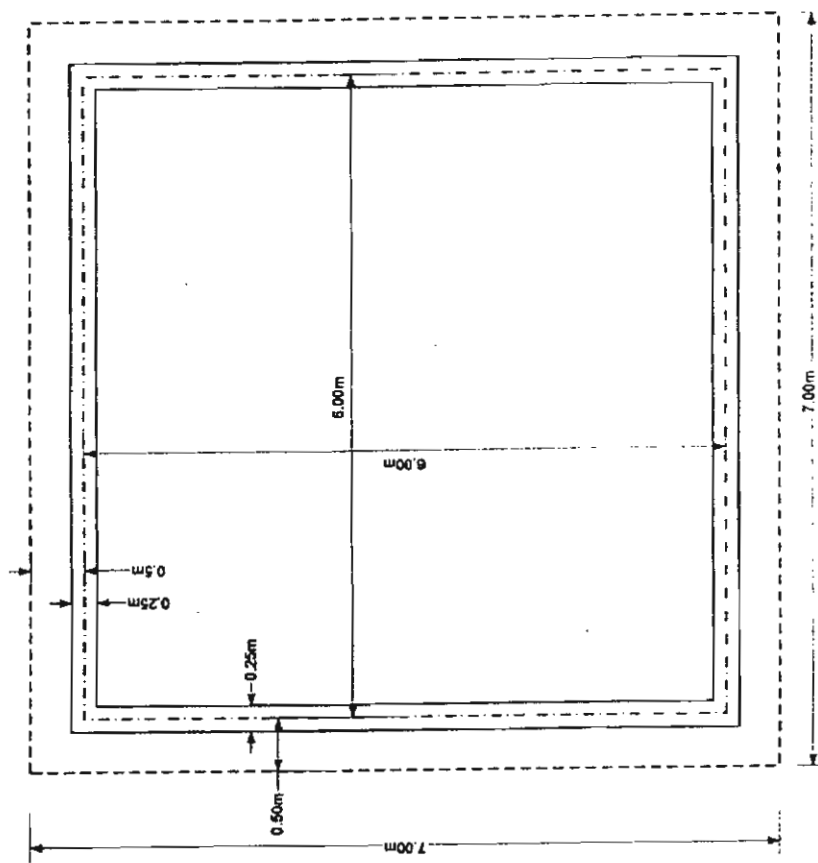
Accelerator Test Tank Laboratory, KMITNB (Prachinburi)			
Drawing Title:	แบบแปลนโครงสร้างเหล็ก	ผู้จัดทำ	Drawing N.
Location:	KMITNB Prachinburi		
Owner:	กรมการขนส่งทางบก		
Structural Engineer:	นาย อดิศักดิ์ งาม (RU 21366)		



SCALE 1:50

Aerator Test Tank Laboratory, KMITNB (Prajinburi)

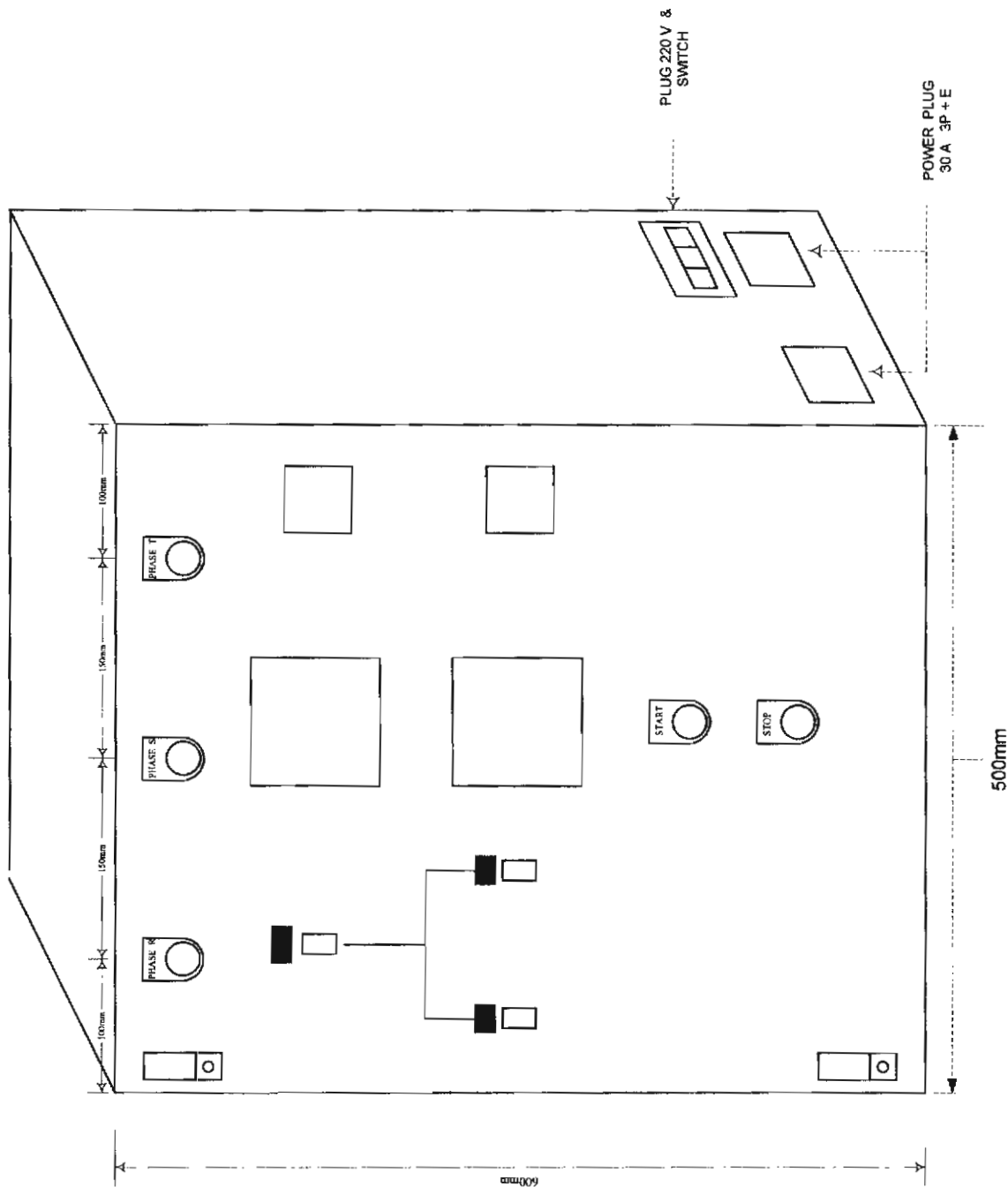
Drawing Title:	Truss (Prajinburi)	Drawing No.
Location:	KMITNB Prajinburi	
Owner:	as of 10/10/2019	



SCALE 1:50

Aerator Test Tank Laboratory, KMITNB (Prajinburi)

Drawing Title :	ถังทดสอบอากาศ	Drawing No :
Location :	KMITNB Prajinburi	
Owner :	ดร.บุญพล ภูมิคุ้มกัน	
Structural Engineer :	ปณิธิ ธรรมจักร (09 21396)	



		Thai General Construction Service Co., Ltd. 277/32 Moo 3 Bowin District, Sriacha Area, Choburi 20230 Tel : (038) 345567 - 8 Fax : (038) 345569		Approved Checked Disigned Drawing	Date / / Date / / Date 15 / 12 / 02 Date 15 / 12 / 02	Project Drawing Title	CONTROL PANEL FOR AERATOR TEST PLANT CONTROL PANEL LAY OUT	PAGE
---	--	---	--	--	--	--------------------------	---	----------

ภาคผนวก ข

Oxygen-Transfer Measurement in Clean Water

Zhen He*, Anurak Petiraksakul** and Warawitya Meesapya**

Abstract

This paper presents the experiments on measurement of oxygen transfer capacity in clean water by using desorption and absorption techniques. Experiments were set up in a small-scale tank with a volume of 17L. Pure oxygen was used to increase the dissolved oxygen concentration in clean water (desorption measurement). While sodium sulfite was added to decrease the dissolved oxygen concentration in absorption measurement. Standard oxygen transfer coefficient ($K_L a_{20}$) was calculated based on the variation of dissolved oxygen concentration with time. For the absorption method, a mean value of $K_L a_{20}$ can be obtained as 8.60 h^{-1} with a water volume of 14L. Meanwhile, standard oxygen transfer efficiency (SOTE) was shown in the range of 4.5-4.9% with water depth 0.3m by correcting the airflow condition. Desorption measurement was investigated to certify the influence of water depth on SOTE. All the data on dissolved oxygen concentration and tested water temperature was read by an electronic DO meter.

Keywords : dissolved oxygen concentration, oxygen transfer coefficient ($K_L a_{20}$), standard oxygen transfer efficiency (SOTE), absorption measurement, desorption measurement and water depth.

1. Introduction

The oxygen transfer capacity and the aeration efficiency characterize the performance and economy of aeration installations in activated sludge plants [1]. From 1978, the guideline for the determination of the oxygen transfer capacity has been published. In 1984, the American Society of Civil Engineers (ASCE), with international participation, published the ASCE Standard "Measurement of Oxygen Transfer in Clean Water". The test water shall be equivalent in quality to a potable public water supply. Repetitive testing may be conducted in the same water, provided that the TDS is not over 2000 mg/L [2].

This article presents the methods of measurement based on the second edition of ASCE Standard and German ATV Standard, and verifies the influence of measurement condition. A diffuser was adopted to convey the oxygen into a batch tank. Absorption and desorption measurements were used to determine the oxygen transfer coefficient and oxygen transfer efficiency. All the results were analyzed based on standard condition, which is defined as water temperature of 20°C and normal atmospheric pressure (1013 hPa). A DO meter is the main instrument to measure the dissolved oxygen concentration, which can be used to calculate the transfer rate. Finally, the paper concludes the characteristic of the diffuser by SOTE. Meanwhile, various influence factors will be analyzed by the data treatment.

* Department of Environment & Resource, Technical University of Denmark.

** Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok.

2. Theory

2.1 Definitions

2.1.1 Oxygen Transfer Coefficient ($K_L a_T$, h^{-1})

$K_L a_T$ is determined by evaluation of an oxygen transfer test in clean water at a certain aeration setting and at a certain temperature. It is converted to the standard temperature of $T = 20^\circ C$ as follows:

$$K_L a_{20} = K_L a_T * 1.024^{(20-T)} \quad (1)$$

2.1.2 Standard Oxygen Transfer Rate (SOTR₂₀, $kg-O_2 \cdot h^{-1}$)

SOTR shows the amount of oxygen transferred per hour at the standard condition. It can be calculated by the following:

$$SOTR = K_L a_{20} * C_{s,20} * V \quad (2)$$

where $C_{s,20}$ is the steady-state DO saturation concentration at $20^\circ C$ and V is the liquid volume.

2.1.3 Standard Oxygen Transfer Efficiency (SOTE, %)

SOTE refers to the fraction of oxygen in an input airflow dissolved under the standard condition. It can be computed by:

$$SOTE = SOTR / W_{O_2} \quad (3)$$

where W_{O_2} (kg/s) is the mass flow of oxygen in air stream, which is calculated by:

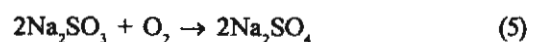
$$W_{O_2} = 0.2765 Q_s \quad (4)$$

Q_s refers to air flow rate at standard condition defined as $0^\circ C$, 1.00 atm, and dry air (0% relative humidity) [1]. Therefore, data about humidity, pressure and temperature are necessary for the conversion of the airflow rate.

2.2 Summary of Test Methods

2.2.1 Absorption Measurements

The oxygen transfer is determined from the increase of the previously, artificially lowered DO concentration [1]. The depletion of oxygen can be implemented by either adding chemicals or stripping with nitrogen gas. Normally, sodium sulphite is used to decrease the oxygen by the reaction:



To remove 1 kg of dissolved oxygen 8 kg of Na_2SO_3 is required. In order to expedite the reaction, the catalyst of cobalt should be introduced into a test tank. After the DO reach zero, the aeration system will be switched on. By dissolving the oxygen of the air into the water, the oxygen concentration increases according to the saturation function:

$$C_t = C_s - (C_s - C_0) * \exp(-K_L a_T * t) \quad (6)$$

where C_t , C_s and C_0 is the DO concentration at time t , saturation point and initial point, respectively. $K_L a$ can be obtained by the relationship between C_t and t .

2.2.2 Desorption Measurements

The oxygen transfer is determined from the decrease of the previously increased DO concentration. Pure oxygen should be used to improve the DO concentration. Hydrogen peroxide can be an alternative of pure oxygen in most cases. An increase of DO of about 10 mg/L should be achieved before the measurement. The decrease of the DO follows a reversed saturation function, which equals to the one in absorption measurements.

2.3 Correction Factors

Due to the difference between the test condition and the standard condition, the data from the

measurement should be converted into standard condition by some correction factors.

$$C_{s,20} = C_{s,T} \left(\frac{1}{\tau \Omega} \right) \quad (7)$$

τ is the temperature correction factor equal to $C_{st,T}/C_{st,20}$ where $C_{st,T}$ and $C_{st,20}$ are the tabular value of DO surface saturation concentration at test temperature and 20°C, standard total pressure of 1.00 atm and 100% relative humidity. Ω is the pressure correction factor, which can be described as P_b/P_s where P_b and P_s are the barometric pressure at test site during test and at standard state (1 atm). In this experiment, an assumption was made that Ω is 1.

3. Experimental Process

3.1 Set-up

The equipment includes a 17 L of cylindrical tank with a diameter of 24 cm., a DO meter (YSI model 550), a cylindrical ceramic diffuser, airflow meter and aerating device (Figure 1). The DO probe was installed at half water depth for absorption measurement. If more DO probes are applied, they can be installed at different water depth. Conductivity meter was used to measure the content of dissolved solids.

3.2 Operation Process

Both absorption measurement and desorption measurement were applied in the experiment. The difference between two methods can be explained

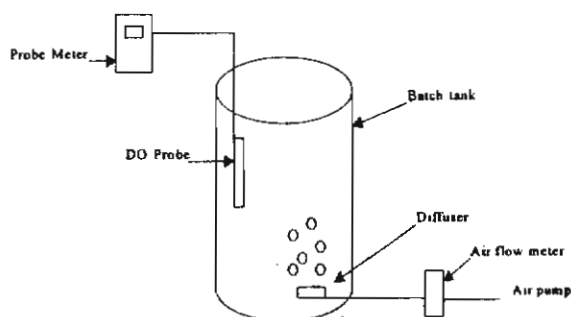


Figure 1 Sketch for experiment set-up

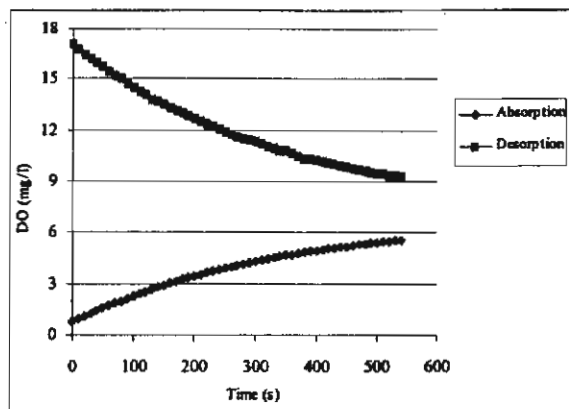


Figure 2 DO variation in different processes

by the Figure 2. The variation of DO concentration is completed by either pure oxygen injection or chemical addition.

3.2.1 Calibration of DO Probe

Calibration of DO probe is necessary for the precise measurement. The methods used in this experiment consist of zero check and saturation check. The zero check is run every time after the probe is turned on, by putting probe into a 1-L tube added by 1 g sodium sulphite and 1 mg cobalt. With excess chemical, the water in the tube should contain zero dissolved oxygen. Saturation check can be done before and after measurement, according to the operation manual for the probe [3].

3.2.2 Temperature Measurement

The temperature of test water can be read from the DO meter. The variation of temperature shall be with an accuracy of $\pm 0.5^\circ\text{C}$ at the beginning and the end of each test [1].

3.2.3 Airflow Rate Measurement

A laboratory flowmeter made by G.A. Platon Ltd is used to measure the airflow rate. The accuracy of the flowmeter has been checked before application. The inverse measuring cylinder filled with water was used to calibrate air flowrate. The airflow of 1550 cm^3/min was applied in the measurement.

3.2.4 Water quality

TDS (Total Dissolved Solid) and conductivity of the test water were measured by a conductivity meter, when each test was finished. If TDS shows a value higher than 2000 mg/L, the test water (clean water) shall be changed.

3.2.5 Adding Chemicals (Absorption Measurements)

All the chemicals should be dissolved before they are added. The amount of sodium sulphite should be 10-15% more than the calculated result due to a lag time for admixture. Normally a cobalt concentration in water of 0.5 mg/L is sufficient. If the test water is kept same, one time of addition of cobalt is enough. Cobalt should be added before sodium sulphite.

3.2.6 Desorption Measurements

Pure oxygen and air tubes were connected to a three-way valve fitting the other end to the diffuser. Pure oxygen was fed from an oxygen cylinder by a pressure-regulator valve through the diffuser into the clean water. When the DO concentration was increased to about 17 mg/L, the regulator was shut off and the air pump was switched on.

3.2.7 Data Collection

With absorption method, when the concentration of oxygen increases from zero, the test data can start at about $C = 0.1 C_{s,T}$. The end point of the test

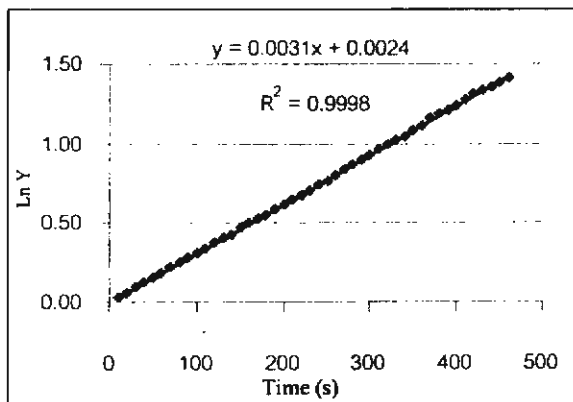


Figure 3 Plot of LnY versus time

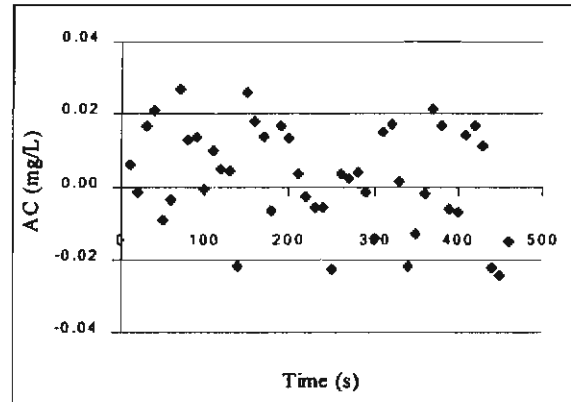


Figure 4 Plot of residues of DO from a test
AC: Difference between the measured DO and the predicted DO

should not exceed $0.8 C_{s,T}$. At least 30 values should be collected for the data analysis. Desorption method demands a start point that is 10 mg/L higher than the saturation value.

4. Data Treatment

Linear regression method is used to analyze the data from the experiment. This method is based on the model through the DO-versus-time data. However, equation (5) gives a nonlinear relationship between DO concentration and time. Transformation of this equation is necessary before it is applied. A linear relationship can be obtained by equation (8).

$$\ln \left(\frac{C_s - C_t}{C_s - C_0} \right) = K_L a_T \cdot t \quad (8)$$

See in Figure 3, the slope of the plot between $\ln Y = \ln \left(\frac{C_s - C_t}{C_s - C_0} \right)$ and time giving a value of is 0.0031 s^{-1} . The best estimates of the parameters, $K_L a_T$, is selected as the values that drive the model equation through the prepared DO concentration-versus-time data points with a minimum residual sum of squares [2]. The residual refers to the difference in concentrations between a measured DO value at a given time and the DO value predicted by the model at the same time (Figure 4).

If the residue shows a curve, normally the initial values of DO concentration are falsified by the lagging sodium sulphite oxidation or unstable mixing conditions. Incorrect values at the end of the curve could influence the curved path of residues. So, a new calculation is necessary, leaving out several initial values or several final values [1].

5. Result and Discussion

5.1 Determination of $K_L a_{20}$ in Clean Water

Absorption method is adopted to measure the oxygen transfer rate in clean water. Results have been converted into the standard condition by a temperature correction factor shown in equation (1). Figure 5 shows the results from the water sample with a depth of 0.30m. One thing should be noticed that the following results are not trying to explain the relationship between temperature and $K_L a_{20}$ or SOTE. Theoretically, values of $K_L a_{20}$ should be same due to the temperature correction.

The values of $K_L a_{20}$ are between 8.3 and 9 h^{-1} in the range of tested water temperature of 27.6-29°C. The mean $K_L a_{20}$ is 8.60 h^{-1} . Temperature, water depth, and airflow could be the influence factors.

The results of SOTE values are within the range of 4.52-4.81% as shown in Figure 6. The values are much smaller than the reference numbers because of the low water depth. Water turbulence may affect the probe readings. Accurate probe

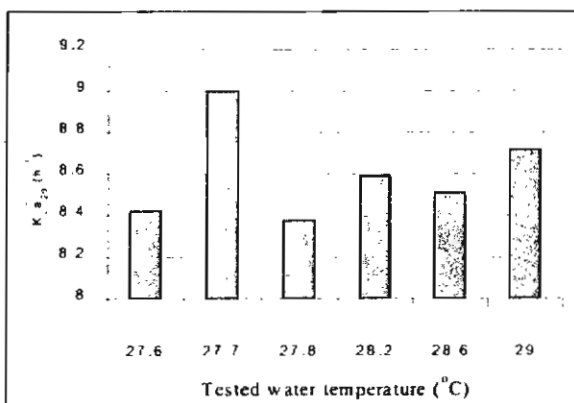


Figure 5 Results of transfer rate in clean water by absorption measurement

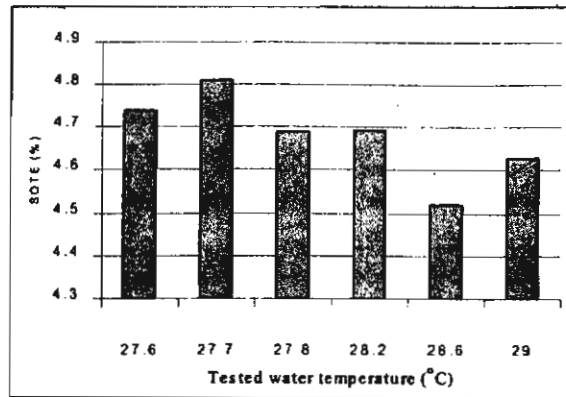


Figure 6 Results of SOTE in clean water

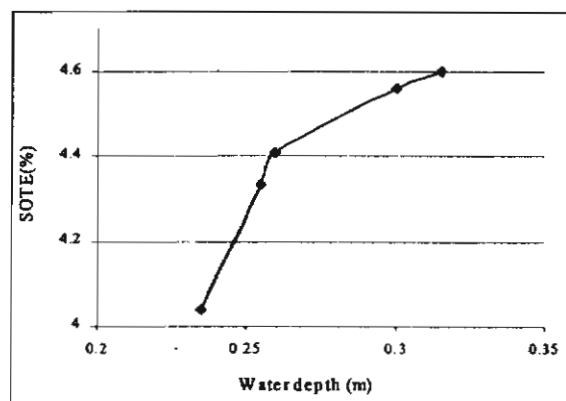


Figure 7 Effect of water depth on SOTE

readings generally require a liquid velocity of at least 0.3 m/sec near the water interface [2]. In this experiment, we avoid stagnation by rapidly moving the probe through the sample [3].

5.2 Influence of Water Depth

Desorption technique was used to verify the influence of water depth in the clean water. Five different water depths (0.24, 0.26, 0.27, 0.30, and 0.32m) are chosen as test objective.

Since the diffuser is installed at the bottom of the tank, water depth can indicate the diffuser depth. Figure 7 shows that SOTE increases with the water depth because the contact time increases between the bubble and the water. The increase of oxygen partial pressure could be another reason for SOTE's increasing [5]. However, this relationship

only gives a tendency of variation of SOTE values, instead of the precise values. Due to the small interval of water depths chosen in this experiment, it is impossible to measure the exact change of SOTE with water depth. For a precise measurement of SOTE variation with water depth, a larger interval (0.5 m or more) between water depths should be chosen.

5.3 Comparison of Absorption and Desorption Measurement

Figure 7 gives a SOTE value of 4.56% at water depth 0.3m by desorption measurement, which is within the range of 4.52-4.81% (Figure 6) at the same water depth from absorption measurement. Both methods can meet the requirement for clean water measurement. With addition of chemicals in absorption measurement, TDS shall be controlled under 2000 mg/L; while no consideration of TDS is necessary with desorption measurement. The economic factor shall be taken into consideration when choosing a method. The comparison of cost between pure oxygen and chemicals added can be investigated further.

6. Conclusion

The practice of absorption and desorption methods for measurement of oxygen transfer coefficient in the laboratory, have been presented in this paper. The test condition should be controlled

strictly, such as temperature, airflow rate and stir of water. The precision of experiment can be improved by applying more DO probes at the different test points.

7. Acknowledgement

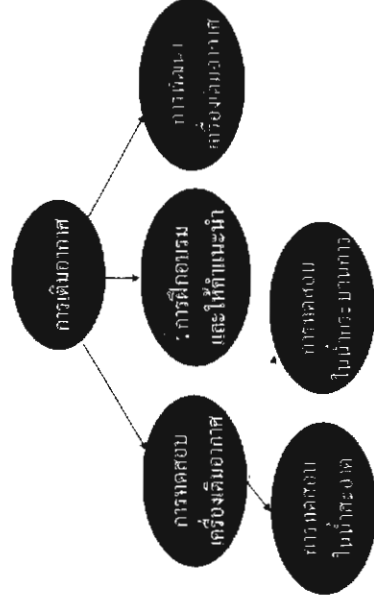
The authors would like to acknowledge. The Thailand Research Fund for financial support. They also would like to thank Department of Chemical Engineering of KMITNB and IAESTE Thailand for their kind help.

References

1. German ATV Standards : Measurement of the Oxygen transfer in Activated Sludge Aeration Tanks with Clean Water and in Mixed Liquor. pp.1-54. 1996.
2. ASCE Standard : Measurement of Oxygen Transfer in Clean Water. Second Edition. pp.1-42. 1992.
3. Operations Manual for YSI 550 Handheld Dissolved oxygen and Temperature System, YSI Incorporated. pp.1-27.
4. pr-European Standard : Wastewater treatment plants - Part 15 : Measurement of the oxygen transfer in clean water in activated sludge aeration tanks: pp.1-16. 1999.
5. ASCE Water Environment Federation : Aeration A Wastewater Treatment Process. pp.21-71.1996.

พันธกิจ

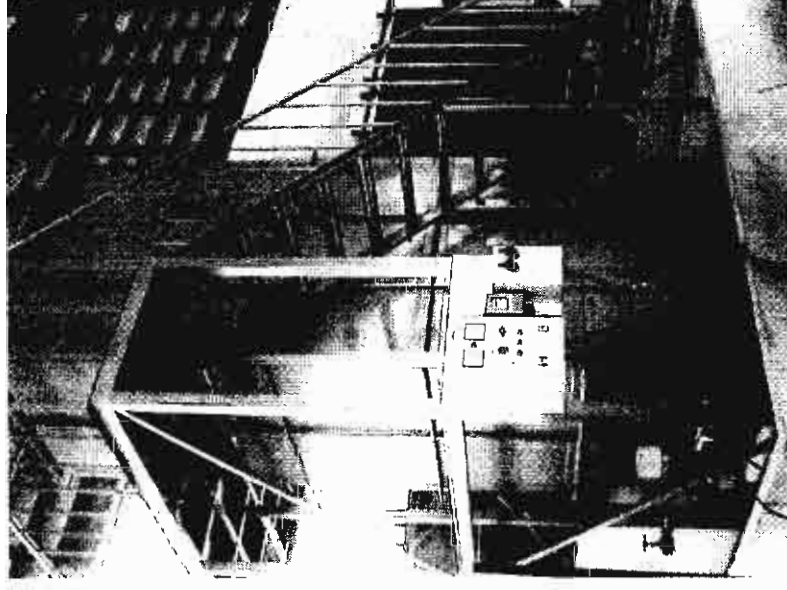
1. จัดตั้งศูนย์ทดสอบเครื่องเติมอากาศตามมาตรฐานสากล และให้บริการตรวจประเมินเครื่องเติมอากาศ
2. ร่างข้อกำหนดการตรวจประเมินเครื่องเติมอากาศที่เหมาะสม
3. ดำเนินการพัฒนาเครื่องเติมอากาศประสิทธิภาพสูง
4. ถ่ายทอดเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการเติมอากาศสู่ผู้ประกอบการและผู้สนใจ
5. อบรมและให้คำแนะนำกับผู้ประกอบการและผู้ซื้อเครื่องเติมอากาศ



แผนภูมิการดำเนินงาน

หลักการวัดประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศ คือ การกำจัดออกซิเจนที่ละลายในน้ำโดยใช้สารเคมี ได้แก่ โซเดียมซัลไฟ จากนั้นเริ่มให้อากาศจนออกซิเจนละลายกลับลงไปให้น้ำจนถึงจุดอิ่มตัว เมื่อเก็บข้อมูลออกซิเจนละลายในน้ำที่เวลาต่าง ๆ แล้วสามารถนำมาคำนวณหา standard oxygen transfer rate, SOTR

ประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศ นิยมรายงานในเทอมประสิทธิภาพการเติมอากาศมาตรฐาน (standard aeration efficiency, SAE) และประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจน (oxygen transfer efficiency, SOTE)



ถังทดสอบของศูนย์วิจัยฯ ขนาด 15 ลูกบาศก์เมตร

ผู้ประกอบการหรือบุคคลที่สนใจในการทดสอบเครื่องเติมอากาศ หรือต้องการแลกเปลี่ยนความรู้ หรือให้คำแนะนำ สามารถติดต่อโดยตรงได้ที่ “ศูนย์วิจัยและทดสอบการเติมอากาศ”

ผศ.ดร.อนุรักษ์ ปีศิริกษัตถกุล

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนนพิบูลสงคราม บางซื่อ กทม. 10800

โทรศัพท์ 0-29132-500 ต่อ 8230 และ 8231

โทรสาร 0-25870-024

E-mail arp@kmitb.ac.th



ส อ ร



กรมควบคุมมลพิษ
Pollution Control & Management



ศูนย์วิจัยและทดสอบการเติมอากาศ*

The Center of Aeration Research and Testing

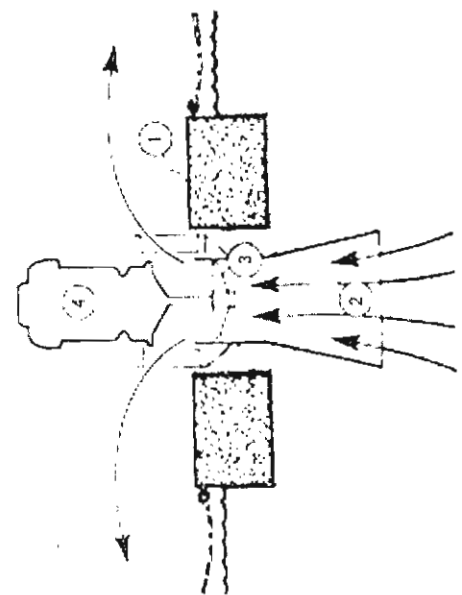
นี่เป็นสิ่งสำคัญในการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิต การบำบัดน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือน รวมทั้งโรงงานอุตสาหกรรมก่อนระบายสู่แหล่งน้ำสาธารณะจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องกระทำเพื่อรักษาแหล่งน้ำตามธรรมชาติให้สามารถใช้ประโยชน์ได้สูงสุด การเติมอากาศเป็นกระบวนการสำคัญกระบวนการหนึ่งในการบำบัดน้ำเสียแบบแอโรบิก ซึ่งอาศัยจุลินทรีย์ชนิดใช้อากาศในการย่อยสลายมลสารในน้ำ อุปกรณ์ที่ใช้ในการเติมอากาศในปัจจุบันมีหลายประเภท เช่น เครื่องกลเติมอากาศที่ผิวน้ำ เครื่องพ่นฟองอากาศผ่านหัวแพร่กระจาย เครื่องเติมอากาศแบบเบสเจ็ต และ เครื่องเติมอากาศแบบวอเตอร์เจ็ต เป็นต้น



เครื่องกลเติมอากาศที่ผิวน้ำหมุนช้าแบบทุ่นลอย “กังหันน้ำชัยพัฒนา”

*ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย “ความเห็นในรายงานผลการวิจัยของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป”

ในการใช้งานจริงปัจจัยที่ทำให้เกิดการประหยัพลังงานสูงสุด คือ เครื่องเติมอากาศที่มีอัตราการถ่ายเทออกซิเจนสูงและการเคลื่อนที่ของกระแสน้ำเพื่อให้การเติมอากาศเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอในบ่อเติมอากาศ ดังนั้นในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องเติมอากาศ (เช่น ค่าการถ่ายเทออกซิเจนต่อกำลังงาน ค่าทอร์คของอุปกรณ์) การศึกษาไปรพายส์ควมเร็ว และการศึกษาการกระจายตัวของฟองอากาศในบ่อ พารามิเตอร์เหล่านี้เป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องศึกษาควบคู่กับการตรวจวัดประสิทธิภาพของการทำงานของออกซิเจน

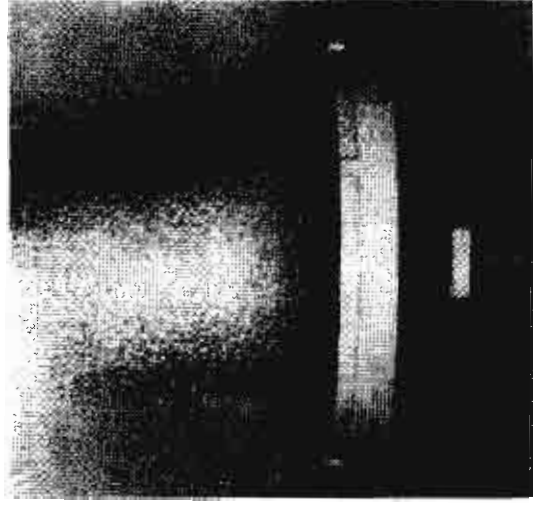


1. Ring float tethered 4 ways with cables to the tank walls.
2. Draft tube
3. Propeller and sling-ring on motor shaft
4. Electric motor 0.75 hp 5.6 kW output rating

เครื่องกลเติมอากาศที่ผิวหน้า

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องเติมอากาศในประเทศไทย มีหน่วยงานที่รองรับในวงจำกัด ทำให้การพัฒนาเครื่องเติมอากาศประสบอุปสรรคในการตรวจสอบสมรรถนะของเครื่องที่ได้จัดสร้างขึ้น การทดสอบเครื่องเติมอากาศที่ออกแบบและสร้างขึ้นนั้นจึงต้องทดสอบในถังวัดกำลังหรืออ่างทดสอบโดยการ

นำไปใช้งานจริง ทำให้มีข้อจำกัดในการทดสอบ ส่งผลให้การวัดประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศมีความน่าเชื่อถือ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการจัดตั้งศูนย์วิจัยฯคือหาแนวทางตรวจประเมินเครื่องเติมอากาศตามหลักวิชาการ โดยได้รับความร่วมมืออย่างใกล้ชิดกับกรมควบคุมมลพิษ การจัดหาเครื่องมือมาตรฐานในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องเติมอากาศตามมาตรฐานสากล การวิจัยพื้นฐานในการเติมอากาศลงในน้ำ และการให้ความรู้กับประชาชนและผู้ประกอบการที่สนใจ ซึ่งการตรวจประเมินที่ได้มาตรฐานจะช่วยส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาเครื่องเติมอากาศใหม่ ประสิทธิภาพในการใช้งานสูงสุด



เครื่องต้นฟองอากาศผ่านหัวแพร่กระจาย

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องเติมอากาศที่นิยมกระทำมี 2 วิธี คือการทดสอบโดยใช้น้ำสะอาดและการทดสอบโดยใช้น้ำในกระบวนการ การทดสอบโดยวิธีการใช้น้ำสะอาดเป็นวิธีมาตรฐานที่นิยมทดสอบเนื่องจากสามารถตรวจสอบค่าอัตราการถ่ายเทออกซิเจนต่อกำลังไฟฟ้าได้สะดวก อีกทั้งการทดสอบยังสามารถวัดค่าคุณภาพน้ำทดสอบทำให้ไม่ขึ้นกับปัจจัยทาง

สภาวะแวดล้อม เช่น ปริมาณการละลายของออกซิเจนในตัวในน้ำ ชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ในน้ำทดสอบ เป็นต้น ดังนั้นในช่วงต้นของการจัดตั้งเป็นศูนย์ทดสอบการเติมอากาศจะทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องเติมอากาศโดยใช้น้ำสะอาดเป็นหลัก ส่วนการทดสอบภาคสนามหรือการทดสอบโดยใช้น้ำในกระบวนการจะดำเนินการในช่วงถัดไป

การทดสอบการถ่ายเทออกซิเจนในน้ำสะอาดมีมาตรฐานอยู่หลายมาตรฐานทั้งในสหรัฐอเมริกาและในยุโรป อย่างไรก็ตามมีเพียง 2 มาตรฐานที่ได้รับความนิยมในการนำไปทดสอบ คือ มาตรฐานการวัดการถ่ายเทออกซิเจนในน้ำสะอาดของ ASCE สหรัฐอเมริกา และมาตรฐาน ATV ของสหพันธ์รัฐเยอรมนี และอีกหนึ่งร่างมาตรฐานที่กำลังจะประกาศใช้ในระยะเวลานี้ใกล้ คือ มาตรฐาน EN 12255-15 ซึ่งทั้งหมดใช้หลักการในการวัดการถ่ายเทออกซิเจนในน้ำสะอาดเหมือนกัน แต่ในรายละเอียดบางรายการมีข้อถกเถียงที่แตกต่างกัน เช่น การกำหนดสภาวะมาตรฐานของอากาศนำเข้าเครื่องเติมอากาศที่สภาวะแตกต่างกัน เป็นต้น

ความสำคัญของการรักษาสถานะแวดล้อมให้สะอาดเป็นภาระกิจที่ทุกคนพึงกระทำ การพัฒนาและการเลือกใช้เครื่องเติมอากาศอย่างมีประสิทธิภาพ จึงเป็นภาระของผู้ประกอบการและรัฐที่ต้องลงทุน การคิดแปลองแก้ไขเครื่องเติมอากาศที่ติดตั้งไปแล้วหรือการติดตั้งระบบเติมอากาศรุ่นใหม่เมื่อการพัฒนาเครื่องเติมอากาศประสิทธิภาพสูงเป็นไปในทิศทางที่ถูกต้องแล้วในระยะยาวย่อมส่งผลให้ต้นทุนในการเติมอากาศลดลง ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการและประเทศโดยตรง ในขณะที่ประเทศไทยยังคงเป็นประเทศที่นำเข้าแหล่งพลังงานอย่างมหาศาล ดังนั้นจะพบว่าประโยชน์ที่เกิดขึ้นจากการสร้างเครื่องเติมอากาศประสิทธิภาพสูงย่อมก่อให้เกิดการลดการนำเข้าเครื่องจักร โดยตรงและการลดการนำเข้าแหล่งพลังงานตามที่ได้กล่าวแล้ว



ที่ 13 ฉบับที่ 65
กุมภาพันธ์ - กันยายน
2546

KMITTB

KMITNB

R&

ผศ.ดร.อนุภพ บตรภยสกุล

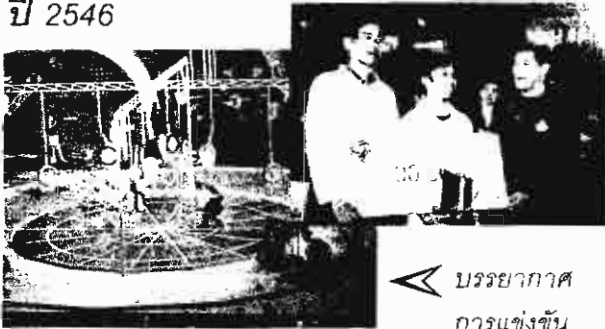
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สจพ วิจัย & พัฒนา

ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

หุ่นยนต์ สจพ. ชนะเลิศการแข่งขันหุ่นยนต์ ส.ส.ท. ชิงแชมป์ประเทศไทย และได้เป็นตัวแทนประเทศไทย เข้าร่วมการแข่งขันหุ่นยนต์นานาชาติ ครั้งที่ 2 ปี 2546



บรรยากาศการแข่งขัน

สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) หรือ ส.ส.ท. ได้จัดการแข่งขัน ส.ส.ท. ชิงแชมป์ประเทศไทย ประจำปี 2546 "ตะกร้อพิชิตจักรวาล" รอบแรกเป็นรอบคัดเลือก โดยจัดขึ้นเมื่อวันอาทิตย์ที่ 23 มีนาคม 2546

เรื่องในฉบับ

ผลงานวิจัย พัฒนา และนวัตกรรม

- หุ่นยนต์ สจพ. ชนะเลิศการแข่งขันหุ่นยนต์ ส.ส.ท. ชิงแชมป์ประเทศไทย และได้เป็นตัวแทนประเทศไทย เข้าร่วมการแข่งขันหุ่นยนต์นานาชาติ ครั้งที่ 2 ปี 2546....1
- บริณญาเอกคนแรกของ ME กับงานวิจัย "การนำโหม้ร่วมระหว่างมูลฝอยชุมชน กับลิกไนท์ในเตาเผาแบบฟลูอิดไธซ์เบด".....2
- บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ ระดับนานาชาติ.....3
- คณาจารย์เสนอขอผลงานในเวทีนานาชาติ.....4

ส่งเสริมวิจัย พัฒนา และนวัตกรรม

- อาจารย์ สจพ. ได้รับทุนวิจัยจากแหล่งทุนภายนอก5
- MTEC ให้การสนับสนุนการจัดตั้งหน่วยเทคโนโลยี เฉพาะทาง.....5

แนะนำห้องปฏิบัติการวิจัย

- ศูนย์วิจัยและทดสอบการเติมอากาศ.....6

แหล่งทุนวิจัย

- สกว. ประกาศรับข้อเสนอโครงการวิจัย "อุตสาหกรรม ยางพาราและผลิตภัณฑ์ยาง".....8
- สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ขอเชิญนักวิจัย สมัครขอรับทุนจากสภาวิทยาศาสตร์แห่งโลกที่สาม (The Third World Academy of Sciences, TWAS).....8

นายกร ทัพพะรังสี รองนายกรัฐมนตรี มอบรางวัลแก่ผู้ชนะเลิศ

เพื่อคัดเลือกทีมผู้เข้าแข่งขันจาก 40 ทีม ให้เหลือ เพียง 16 ทีม ซึ่งทีมที่ผ่านเข้ารอบทั้ง 16 ทีมนี้ จะได้รับงบประมาณสนับสนุนในการสร้างหุ่นยนต์ ทีมละ 20,000 บาท และเมื่อวันที่ 7-8 มิถุนายน 2546 เป็นการแข่งขันคัดเลือกจาก 16 ทีมให้เหลือ เพียง 8 ทีม ซึ่งทีม Yuppicide และทีม C.A.D. จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ (สจพ.) ได้ผ่านเข้ารอบ ชิงชนะเลิศ และยังได้รับรางวัลเทคนิคยอดเยี่ยมอีก 1 รางวัล

ทีม Yuppicide มีผู้ร่วมทีม คือ นายพงษ์พัทธ์ อักษรพันธ์ นายดนัย นามโนรา และนายวิวัฒน์ พงศ์สุวรรณ มี อ. ชัยยุทธ บุรณะสิงห์ เป็นอาจารย์ ที่ปรึกษา ส่วนทีม C.A.D. มีผู้ร่วมทีม คือนายสรศักดิ์ หฤธรรมะเริงรา นายเอกลักษณ์ เวศนาลักษณ์ และนายเอกวิทย์ รัตนสุวรรณ มี ผศ.ดร. วรา วราวิทย์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา และเมื่อวันอาทิตย์ที่ 15 มิถุนายน 2546 ได้มีการแข่งขันรอบสุดท้าย ณ สนามอินดอร์สเตเดียม หัวหมาก เป็นการแข่งขัน รอบชิงชนะเลิศ ผลปรากฏว่า ทีม Yuppicide ชนะทีมพิเศษ บอท จากมหาวิทยาลัยพระจอมเกล้า ธนบุรี ด้วยคะแนน 26 : 16 ได้เป็นแชมป์ประเทศไทย และได้รับถ้วยรางวัลชนะเลิศพร้อมเงินรางวัล 100,000 บาท และยังได้เป็นตัวแทนประเทศไทย เพื่อเข้าแข่งขันหุ่นยนต์นานาชาติ ครั้งที่ 2 ABU (Asia - Pacific Robot Contest) หรือ ABU Robocon ที่ประเทศไทยเป็นเจ้าภาพ ซึ่งจะจัดขึ้น ในวันอาทิตย์ที่ 24 สิงหาคม 2546 ณ ศูนย์ การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ โดยจะมีชาติต่างๆ ในเอเชีย-แปซิฟิกอีก 20 ชาติ เข้าร่วมการแข่งขัน ในครั้งนี้

อ่านต่อหน้า 3

ศูนย์วิจัยและทดสอบการเติมอากาศ *The Center of Aeration Research and Testing*

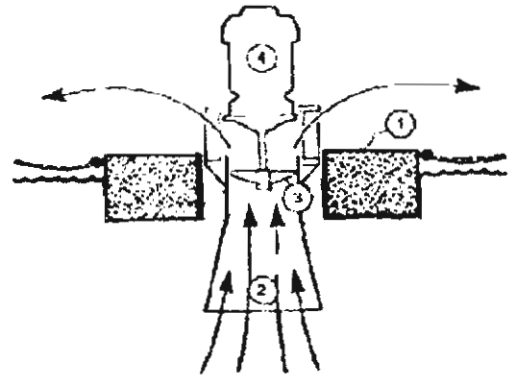
ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

ความเป็นมาในการจัดตั้งศูนย์วิจัย

น้ำเป็นสิ่งสำคัญในการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิต การบำบัดน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือนรวมทั้งโรงงานอุตสาหกรรมก่อนระบายสู่แหล่งน้ำสาธารณะ จึงจำเป็นต้องกระทำเพื่อรักษาแหล่งน้ำตามธรรมชาติให้สามารถใช้ประโยชน์ได้สูงสุด การเติมอากาศเป็นกระบวนการสำคัญกระบวนการหนึ่งในการบำบัดน้ำเสียแบบแอโรบิก ซึ่งอาศัยจุลินทรีย์ชนิดใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายมลสารในน้ำ อุปกรณ์ที่ใช้ในการเติมอากาศในปัจจุบันมีหลายประเภท เช่น เครื่องกวนกลผิวน้ำ การพ่นฟองอากาศผ่านหัวแพร่กระจาย เครื่องเติมอากาศแบบเจ็ท และเครื่องเติมอากาศแบบวอเตอร์เจ็ท เป็นต้น

ในการใช้งานจริงปัจจัยที่ทำให้เกิดการประหยัพลังงานสูงสุด คือเครื่องเติมอากาศที่มีอัตราการถ่ายเทออกซิเจนสูง และการเคลื่อนที่ของกระแสน้ำ เพื่อให้การเติมอากาศเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอในบ่อเติมอากาศ ดังนั้น ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องเติมอากาศเพื่อตรวจวัดประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนจึงต้องมีการศึกษาไปรฟาสัยความเร็วและการกระจายตัวของฟองอากาศในบ่อ

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องเติมอากาศในประเทศไทยมีหน่วยงานที่รองรับในวงจำกัด ทำให้การพัฒนาเครื่องเติมอากาศประสบอุปสรรคในการตรวจสอบสมรรถนะของเครื่องที่ได้จัดสร้างขึ้น ซึ่งจากประสบการณ์ของคณะผู้วิจัย พบว่าการทดสอบเครื่องเติมอากาศที่ออกแบบและสร้างขึ้นใหม่มักจะถูกทดสอบในถังน้ำ (ขนาด 2-5 ลูกบาศก์เมตร) หรือทดสอบโดยการใช้งานจริง (ในบ่อขนาดใหญ่ที่ทำการติดตั้งเครื่องเติมอากาศหลายตัว ทำให้การวัดประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศประสบปัญหาทางด้านราคาและวิธีการประเมินประสิทธิภาพของการทดสอบ) ดังนั้นการจัดตั้งศูนย์ทดสอบสมรรถนะของเครื่องเติมอากาศตามหลักวิชาการ จึงนำมาซึ่งประโยชน์ในการตรวจสอบสมรรถนะของเครื่องเติมอากาศที่มีขายอยู่ในท้องตลาด หรือเครื่องเติมอากาศที่จัดสร้างขึ้นใหม่โดยคณะผู้วิจัยเชื่อมั่นเป็นอย่างยิ่งว่าการจัดตั้งศูนย์ทดสอบที่ได้มาตรฐานจะช่วยส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาเครื่องเติมอากาศให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานสูงสุด



1. Ring foot, tethered 4 ways with cables to the tank walls
2. Draft tubes
3. Propeller for air slinging or motor shaft
4. Electric motor, 0.75 hp 50 Hz output rating

เครื่องกลเติมอากาศที่ผิวน้ำ



เครื่องพ่นฟองอากาศผ่านหัวแพร่กระจาย

มาตรฐานการทดสอบเครื่องเติมอากาศ

การทดสอบการถ่ายเทออกซิเจนในน้ำสะอาดมีมาตรฐานอยู่หลายมาตรฐานทั้งในสหรัฐอเมริกาและในยุโรป อย่างไรก็ตามมีเพียง 2 มาตรฐานที่ได้รับความนิยมในการนำไปทดสอบมาตรฐานการวัดการถ่ายเทออกซิเจนในน้ำสะอาดของ A สหรัฐอเมริกา และมาตรฐาน ATV ของสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี และอีกหนึ่งร่างมาตรฐาน คือมาตรฐาน EN 12255-15 ซึ่งกำลังใช้หลักการในการวัดการถ่ายเทออกซิเจนในน้ำสะอาดเหมือ แต่ในรายละเอียดบางรายการมีข้อปลีกย่อยที่แตกต่างกัน การกำหนดสภาวะมาตรฐานของอากาศเข้าเครื่องเติมอากาศที่สภาวะแตกต่างกัน เป็นต้น

ในประเทศไทยยังไม่มีมาตรฐานในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องเติมอากาศทำให้ความยืดหยุ่นในการทดสอบ

เดิมอากาศมีความจำกัด ดังนั้น ศูนย์วิจัยและทดสอบการเติมอากาศ
จึงร่วมกับกรมควบคุมมลพิษ ภาครัฐ และภาคเอกชน จัดสัมมนา
เชิงปฏิบัติการเพื่อรวบรวมข้อคิดเห็นในการยกวางข้อกำหนด
การทดสอบเครื่องเติมอากาศในน้ำสะอาด

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเป็นศูนย์ทดสอบเครื่องเติมอากาศตามมาตรฐาน
สากล และให้บริการตรวจประเมินเครื่องเติมอากาศ
2. เพื่อร่างข้อกำหนดการตรวจประเมินเครื่องเติมอากาศ
ที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบในประเทศไทย
3. เพื่อวิจัยและพัฒนาเครื่องเติมอากาศประสิทธิภาพสูง
4. เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการเติมอากาศ
ผู้ประกอบการและผู้สนใจ
5. เพื่อจัดอบรมและให้คำแนะนำกับผู้ประกอบการและผู้ซื้อ
เครื่องเติมอากาศ

หลักการวัดประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศ คือการกำจัด
ออกซิเจนที่ละลายในน้ำโดยใช้สารเคมี ได้แก่ โซเดียมซัลไฟท์ จากนั้น
รื้อให้อากาศจนออกซิเจนละลายกลับลงไปในน้ำจนถึงจุดอิ่มตัว
เมื่อเก็บข้อมูลออกซิเจนละลายในน้ำที่เวลาต่าง ๆ แล้ว สามารถนำมา
คำนวณค่าอัตราการถ่ายเทออกซิเจนที่สภาวะมาตรฐาน (Standard
oxygen Transfer Rate, SOTR) ประสิทธิภาพการเติมอากาศมาตรฐาน
Standard Aeration Efficiency, SAE) และประสิทธิภาพการถ่ายเท
ออกซิเจน (Standard Oxygen Transfer Efficiency, SOTE)

ผลงานที่ผ่านมา

1. จัดสัมมนาเชิงปฏิบัติการ 2 ครั้ง เพื่อร่างข้อกำหนด
การทดสอบเครื่องเติมอากาศให้เป็นสากล ครั้งที่ 1 เมื่อวันที่ 10
เมษายน 2545 มีหน่วยงานเข้าร่วมสัมมนาเป็นผู้ประกอบการ
และหน่วยงานราชการ ส่วนครั้งที่ 2 จัดขึ้นระหว่างวันที่ 13-14
เมษายน 2546 โดยมีหน่วยงานที่เข้าร่วมสัมมนาเป็นผู้ประกอบการ
และหน่วยงานราชการ จำนวน 10 หน่วยงานเช่นเดียวกัน

2. ทดลองวัดประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศในระดับ
ห้องปฏิบัติการและเครื่องเติมอากาศขนาดกำลังต่ำกว่า 5 แรงม้า

3. ศึกษาการวัดค่าแอลฟาแฟคเตอร์ของน้ำเสียชุมชน
ารบริการวิชาการของศูนย์

1. รับทดสอบและตรวจประเมินประสิทธิภาพเครื่องเติม
อากาศ ขนาดต่ำกว่า 20 แรงม้า

2. จัดการฝึกอบรมให้กับผู้ประกอบการหรือผู้สนใจเข้าใจ
หลักการทํางานและทดสอบเครื่องเติมอากาศ

3. รับบริการปรึกษาและทำวิจัยด้านการเติมอากาศ และ
เครื่องเติมอากาศร่วมกับหน่วยงานของรัฐและเอกชนที่สนใจ

โครงการวิจัยที่จะดำเนินการในอนาคต

1. ศึกษาวิธีการทดสอบเครื่องเติมอากาศโดยใช้น้ำ
กระบวนการ (Process Water)
2. วิจัยเครื่องเติมอากาศประสิทธิภาพสูง
3. ศึกษาสมบัติของน้ำเสีย เช่น แอลฟาแฟคเตอร์
เพื่อประโยชน์ในการนำไปออกแบบระบบเติมอากาศ
4. ศึกษา Hydrodynamics ของการเติมอากาศ
5. การใช้ประโยชน์จากการใช้น้ำสูงสุด



ถังทดสอบเครื่องเติมอากาศ
ขนาด 1.5 x 2 x 5 เมตร
ที่โรงงานภาควิชา
วิศวกรรมเคมี สจพ. กรุงเทพฯ



ร่องอริการบดี
ฝ่ายวิจัยและ
ประกันคุณภาพ
การศึกษาเป็นประธาน
เปิดการสัมมนาเชิงปฏิบัติการ
ณ ห้องลานชมพู
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สจพ. กรุงเทพฯ



ถังทดสอบ
เครื่องเติม อากาศ
ขนาด 6 x 6 x 5 เมตร
ที่ สจพ. ปราจีนบุรี

บุคลากร



ผศ.ดร. อนรรักษ์ ปิตรีกษ์สกุล
หัวหน้าโครงการ

ดร.ภาวนี นรัตถรักษา
ผู้ร่วมวิจัย

ดร.พนิตนาฏ จันทรานุกภาพ
ผู้ร่วมวิจัย

อ. สุริยันต์ เทียมเพ็ชร
ผู้ร่วมวิจัย

อ. สมร หิรัญประดิษฐ์กุล
ผู้ร่วมวิจัย

นายวรวิทย์ มีทรัพย์

นักศึกษาปริญญาโท

นายศราวุธ ปิ่นมู

นักศึกษาปริญญาโท

ภาคผนวก ค

สัมมนาเชิงปฏิบัติการ

เรื่อง

ข้อกำหนดในการทดสอบเครื่องเติมอากาศ ครั้งที่ 1

วันศุกร์ที่ 10 พฤษภาคม 2545

ณ ห้องลานชมพู ชั้น 4 ตึก 81 คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

08.300-09.00	ลงทะเบียน	หน้าห้องลานชมพู
09.00-09.15	พิธีเปิดการสัมมนาเชิงปฏิบัติการ โดยท่านรองอธิการบดี	รศ.ชาญ อดุลงาน รองอธิการบดีฝ่ายวิจัยและประกันคุณภาพการศึกษา
09.15-09.45	แนวทางการตรวจประเมินเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมมลพิษ	ดร.ชนินทร์ ทองธรรมชาติ ผอ.สถาบันพัฒนาเทคโนโลยีการควบคุมมลพิษ
09.45-10.15	โครงการจัดตั้งศูนย์วิจัยและทดสอบการเติมอากาศ	อ.สุริยันต์ เทียมเพชร อ.ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี สจพ.
10.15-10.30	พักรับประทานอาหารว่างและเครื่องดื่ม	ห้องรับรอง
10.30-11.00	มาตรฐานและทฤษฎีการวัดประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศ	ผศ.ดร.อนุรักษ์ ปิตรีกษ์สกุล อ.ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี สจพ.
11.00-11.30	เทคนิคการวัด DO	ห้างหุ้นส่วนจำกัด หริกุล
11.30-12.00	เทคนิคการวัดกำลังของเครื่องเติมอากาศ	อ.บัลลังก์ เนียมมณี อ.ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สจพ.
12.00-13.00	พักรับประทานอาหารกลางวัน	ห้องรับรอง
13.00-15.00	สัมมนากลุ่มย่อย*	
15.00-15.15	พักรับประทานอาหารว่างและเครื่องดื่ม	ห้องรับรอง
15.15-16.30	รายงานผลการประชุมกลุ่มย่อย	
16.30	สรุปผลการประชุมและปิดการประชุม	

*หมายเหตุ การประชุมกลุ่มย่อยในช่วงบ่ายจะมีการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น ข้อเสนอแนะและประสบการณ์ในหัวข้อ

1. สภาวะในการทดสอบเครื่องเติมอากาศ
2. ข้อกำหนดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบเครื่องเติมอากาศ
3. การเขียนรายงานการทดสอบเครื่องเติมอากาศ
4. แนวทางการรายงานผลใน catalog ของผู้ผลิตและผู้จำหน่าย
5. ขั้นตอนการยื่นเอกสารเพื่อการตรวจประเมิน

ผู้เข้าร่วมสัมมนาเชิงปฏิบัติการ
เรื่อง "ข้อกำหนดในการทดสอบเครื่องเติมอากาศ ครั้งที่ 1"
วันศุกร์ที่ 10 พฤษภาคม 2545
ณ ห้องประชุมพญ อาคาร 81 ชั้น 4 คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ลำดับที่	ชื่อ - นามสกุล	หน่วยงาน	ตำแหน่ง
รศ. ชญา ถานังงาน	สจพ.		รองอธิการบดีฝ่ายวิจัยและประกันคุณภาพการศึกษา (ประธานพิธีเปิดงานสัมมนา)
ดร. ชมนทร์ ทองธรรมชาติ	สถาบันพัฒนาเทคโนโลยีการควบคุมมลพิษ	ผอ.สถาบันพัฒนาเทคโนโลยีการควบคุมมลพิษ (วิทยาการบรรยายพิเศษ)	
นาย สุรียนต์ เทียมเพ็ชร	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจพ.	อาจารย์ (วิทยาการ)	
ดร. อนุรักษ์ ปิตร์รักษ์สกุล	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจพ.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (วิทยาการ)	
นาย วุฒิกกร หริพจน์พรกุล	ห้างหุ้นส่วนจำกัด หรีกูล	ผู้จัดการฝ่ายขาย (วิทยาการ)	
นาย บัลดลังก์ เนียมมณี	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจพ.	อาจารย์ (วิทยาการ)	
นาย สมชัย เผือกเงิน	บริษัท ไฟลโกลด์ แมนูแฟคเจอร์ จำกัด	ผู้จัดการโรงงาน	
นาย ไพโรจน์ ตั้งจิตต์ภราดร	บริษัท ไฟลโกลด์ แมนูแฟคเจอร์ จำกัด	R&D	
นาย โกมล ทพพันธ์ดี	บริษัท ฟีนิกซ์ สยาม จำกัด	ผู้ช่วยผู้จัดการฝ่ายขาย	
นาย วรชาติ เมืองสอน	บริษัท ริวเวอร์ เอนจิเนียริง จำกัด	ผู้จัดการแผนกซ่อมและบริการ	
นาย ปองพล ภูมิวิเศษ	บริษัท ริวเวอร์ เอนจิเนียริง จำกัด	วิศวกรเครื่องกล	
นาย สรเสริญ ธรรมากิมณต์	บริษัท ริวเวอร์ เอนจิเนียริง จำกัด	พนักงานขาย	
นาย จิสรุทธ์ จัยสวัสดิ์	บริษัท ริวเวอร์ เอนจิเนียริง จำกัด	วิศวกรขาย	
นาย พงศัย นิมเจริญวรรณ	Inox International Co., Ltd.	ผู้จัดการฝ่ายผลิตภัณฑ์	
น.ส. ภาสินี ศิริวรรณะ	Inox International Co., Ltd.	เจ้าหน้าที่ฝ่ายการตลาด	
นาย ชชาติชาย ยมะคุปต์	ศูนย์ปฏิบัติการพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรม (กำแพงแสน)	อาจารย์	
ดร. อีร์วัฒน์ มงคลธวัชรัตน์	ภาควิชาเคมี สจล.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์	
น.ส. สายใจ บุญเที่ยง	World Mechanics & Works Co., Ltd. (บจก.สหคิม)	วิศวกรขาย	
นาย กรวิทย์ ไธชนะ	World Mechanics & Works Co., Ltd. (บจก.สหคิม)	Sales Executive	

ผู้เข้าร่วมสัมมนาเชิงปฏิบัติการ
เรื่อง "ข้อกำหนดในการทดสอบเครื่องเติมอากาศ ครั้งที่ 1"
วันศุกร์ที่ 10 พฤษภาคม 2545
ณ ห้องลานชมพู่ อาคาร 81 ชั้น 4 คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ลำดับที่	นามสกุล	หน่วยงาน	ตำแหน่ง
20	ดร. มัลลิกา ปัญญาตะโป	ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ (สนามจันทร์)	ผู้ช่วยศาสตราจารย์
21	น.ส. สาลินี ภูเซ็น	หจก.หริกุล	พนักงานขาย
22	นาย เอกชัย รัตมี	บริษัท ทอเพค จำกัด	กรรมการผู้จัดการ
23	นาย สุพรต แก้วแกมคำ	บริษัท ซีเล (ไทยแลนด์) จำกัด	ผู้จัดการฝ่ายขาย
24	นาย แจม สุนศักดิ์	บริษัท ซีเล (ไทยแลนด์) จำกัด	ผู้จัดการฝ่ายการตลาด
25	น.ส. ศิริลักษณ์ ศรี	บริษัท ยู นิ เซล โพล จำกัด	วิศวกรสิ่งแวดล้อม
26	นาย ขาญพงษ์ พูลพิพัฒน์นธ์	บริษัท ยู นิ เซล โพล จำกัด	ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม
27	น.ส. ประไพ แจมสายบัว	บริษัท อควา นิธิธำรา จำกัด	หัวหน้าแผนกเดินระบบ
28	น.ส. วิพัฒนา พรหมศิริ	บริษัท เอสซีซีเอชั่น ออฟ ทรี จำกัด	ผู้จัดการฝ่ายขายและการตลาด
29	นาย พิเศษ บุญยสิริวัฒน์	บริษัท ลูฟท์เทค จำกัด	วิศวกรฝ่ายขาย
30	นาย ก้องสมุทร วีรวัฒน์	บริษัท ลูฟท์เทค จำกัด	วิศวกรฝ่ายขาย
31	นาง วรณกุล บำรุงสวัสดิ์	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมฯ สจพ.	อาจารย์
32	ดร. ภรณ์ นริตรรักษา	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมฯ สจพ.	อาจารย์ (ผู้ดำเนินรายการกลุ่มย่อย)
33	ดร. มณฑิลา แห่งทรัพย์เจริญ	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมฯ สจพ.	อาจารย์
34	น.ส. สมร หิรัญประดิษฐ์กุล	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมฯ สจพ.	อาจารย์ (ผู้ดำเนินรายการกลุ่มย่อย)
35	ดร. พินิตนาถ จันทนาภาพ	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมฯ สจพ.	อาจารย์
36	ดร. จันทพร ผลการกุล	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมฯ สจพ.	อาจารย์
37	นาย ภิภาวธ พงษ์ประยูร	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมฯ สจพ.	อาจารย์
38	นาย พิจิตร เขียววางกูร	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมฯ สจพ.	อาจารย์ (ผู้ดำเนินรายการกลุ่มย่อย)
39	นาย วิฑิต นุตะเมขลิน	บริษัท เอสซีซีเอชั่น ออฟ ทรี จำกัด	กรรมการผู้จัดการ

ประวัติผู้บรรยาย

1. ชื่อ	อนุรักษ์ ปิติรักษสกุล
เกิดวันที่	27 พฤษภาคม 2507
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2525-2528 วท.บ (เคมีอุตสาหกรรม) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง พ.ศ. 2529-2532 วศ.ม (วิศวกรรมเคมี) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2539-2543 Ph.D. (Chemical Engineering) Loughborough University, UK.
ตำแหน่ง	ผู้ช่วยศาสตราจารย์
สถานที่ติดต่อ	ภาควิชาวิศวกรรมเคมีและกระบวนการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
โทรศัพท์	9132500-24 ต่อ 8231
ความชำนาญ	flotation and aeration Chemical kinetics
ประสบการณ์	1. ร่วมออกแบบระบบและเดินเครื่อง โรงงานผลิตสารละลายเกลือของระดับอุตสาหกรรม ขนาด 28,000 ตารางเมตร ของบริษัทนิโอเทค จำกัด จังหวัดราชบุรี ตั้งแต่ 2/2532 ถึง 2/2534 2. ออกแบบชุดอุปกรณ์การทดลองในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมเคมี เช่น อุปกรณ์วัดการสูญเสียแรงดันท่อ ข้อต่อ และ วาล์ว อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำในท่อ หม้อต้มระเหย 2 ชั้นตอน (double-effect evaporator) เป็นต้น 3. ทดสอบเครื่องเติมอากาศให้กับบริษัทไฮโดรเทค จำกัด 4. สร้างเครื่อง Dissolved Air Flotation (DAF) เพื่อใช้ในการบำบัดน้ำและน้ำเสีย

2. ชื่อ นายสุริยันต์ เทียมเพชร
 เกิดวันที่ 5 กันยายน 2491 ณ อ.เมือง จ.สระแก้ว
 ประวัติการศึกษา 2511 วิทยาลัยเทคนิคไทย-เยอรมัน ขอนแก่น
 2517 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต Dipl.-Ing. (FH) in Gas-, Water-, Heating-and Cooling System
 จาก University of Applied sciences, Wolfenbuettel(Fachhochschule
 Wolfenbuettel) , Germany
 2524 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต Dipl.-Ing. in Energy & Process Engineering
 จาก Technical University of Berlin, Germany
 ตำแหน่ง อาจารย์
 สถานที่ติดต่อ ภาควิชาวิศวกรรมเคมีและกระบวนการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
 โทรศัพท์ 9132500-24 ต่อ 8230
 ความชำนาญ Water jet aeration, refrigeration, waterwaste and solid waste treatment

ประวัติการทำงาน

2517 – 2518 วิศวกรออกแบบงานระบบของกระบวนการในอุตสาหกรรม ประจำบริษัท Ehlert KG. เมือง
 Hildesheim, Germany.
 2524 – 2525 วิศวกรออกแบบงานระบบของกระบวนการในอุตสาหกรรมประจำบริษัท Schaeler
 Engineering GmbH, Berlin Germany.
 2525 – 2527 อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอม
 เกล้าพระนครเหนือ
 2527 – 2539 หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระ
 นครเหนือ
 2539 – 2542 รองผู้อำนวยการฝ่ายปฏิบัติการ สำนักพัฒนาเทคโนโลยีเพื่ออุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยี
 พระจอมเกล้าพระนครเหนือ
 2542 –ปัจจุบัน รักษาการผู้อำนวยการ ศูนย์บริการเทคโนโลยี ปราจีนบุรี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระ
 นครเหนือ

ประสบการณ์

1. พัฒนาระบบเติมอากาศลงในน้ำเสียโดยอาศัย Water jet-Air injection เพื่อสนองโครง
 การตามพระราชดำริของสถาบันฯ
3. จัดฝึกอบรมการบำบัดของเสียจากอุตสาหกรรมและของเสียชุมชน
3. ออกแบบและสร้างระบบผลิตน้ำจากน้ำทะเล

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นายบัลลังก์ เนียมมณี
ที่อยู่	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 1518 ถนนพิบูลสงคราม บางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800, Tel: 0291 32500, Fax: 0258 57350, Ext : 8420, 8518, Email : bln@kmitnb.ac.th , Room 4-316
การศึกษา	วศบ. (อิเล็กทรอนิกส์กำลัง) วิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วศม. (ระบบควบคุม) วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิชาที่เคยสอน	- Circuit Theory - Control Engineering I - Control Engineering II - Engineering Mathematics - Electrical Drawing - Energy Conversion - Industrial Electronics
ประสบการณ์ทำงาน	- 2533-2541 วิศวกรฝ่ายติดตั้ง, วิศวกรฝ่ายบริการ, วิศวกรที่ปรึกษา และ ผู้จัดการฝึกอบรม บริษัท สยามอีตาซีเอลิเวเตอร์ จำกัด - 2541-2542 ผู้จัดการฝ่ายออกแบบ บริษัท 4ENG อิเลคส์ทรอนิกส์ จำกัด - ฝึกอบรมและดูงานเกี่ยวกับการติดตั้งและการควบคุมคุณภาพ ของลิฟท์และบันไดเลื่อน ณ. ประเทศสิงคโปร์ - วิทยากรพิเศษ ให้กับสมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น - อาจารย์พิเศษมหาวิทยาลัยเซนต์จอน - ที่ปรึกษาให้กับบริษัท Steel Works Products (1994)
งานวิจัย	- ตัวแปรผันทำงานในสถานะกระแสเป็นศูนย์โดยใช้สวิตช์ช่วย (A Zero Current Switching Converter with Auxiliary Switch)

ประวัติโดยย่อของอาจารย์ภาวณี นรัตถรักษา

ชื่อ ภาวณี นรัตถรักษา

Phavanee Narataruksa

เกิดวันที่ 27 มีนาคม 2514

ประวัติการศึกษา วศ.บ (วิศวกรรมเคมี) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

M.Sc. (Process Integration) UMIST, UK

Ph.D (Chemical Engineering) UMIST, UK

ตำแหน่ง อาจารย์

สถานที่ติดต่อ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

โทรศัพท์ 9132500-24 ต่อ 8236

ความชำนาญ Heat transfer processes

Process integration and retrofit

ผลงานการวิจัยและสิ่งตีพิมพ์

1. "Polypropylene coating by fluidized bed techniques" The third national Chemical Engineering conference, Oct.,11-12, 1993, Bangkok, Thailand.
2. "The by-pass control for heat exchangers" in the proceeding of The1998 ICHEM^E research event, 1998, Newcastle Upon Tyne, UK.
3. "Design of flexible multistream plate heat exchangers" in the proceeding of The International conference on heat exchangers for sustainable development, 1998, Lisbon, Portugal.
4. "The use of a plate and frame heat exchanger as a three stream compact exchanger" in the proceeding of International conference on compact heat exchangers and enhancement technology for the process industries, 1999, Banff, Canada.
5. "Computation of plate heat exchanger thermal performance by numerical methods" " in the proceeding of The 6th UK national conference on heat transfer, 1999, Edinburgh, UK.
6. "Recover more heat with compact multistream plate and frame heat exchangers" in the proceeding of The first regional conference on energy technology towards a clean environment, 2000, Chiang Mai, Thailand.

7. "Numerical calculation of plate heat exchanger performance without the need to iterate" in the proceeding of The 2nd International conference on computational heat and mass transfer, 2001, Rio de Janeiro, Brazil.
8. "The adverse thermal effects of the end channel flows on the design of compact plate heat exchangers" in the proceeding of The 11th national Chemical Engineering conference, 2001, Nakronrachasima, Thailand.

ประวัติโดยย่อของอาจารย์สมร หิรัญประดิษฐกุล

Samorn Hirunpraditkoon

เกิดวันที่ 28 เมษายน 2509

ประวัติการศึกษา วท.บ (เทคโนโลยีอาหาร) มหาวิทยาลัยขอนแก่น

M.Eng. (วิศวกรรมเคมี) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

กำลังศึกษาต่อ Ph.D (Chemical Engineering) The University of Newcastle, Australia

ตำแหน่ง อาจารย์

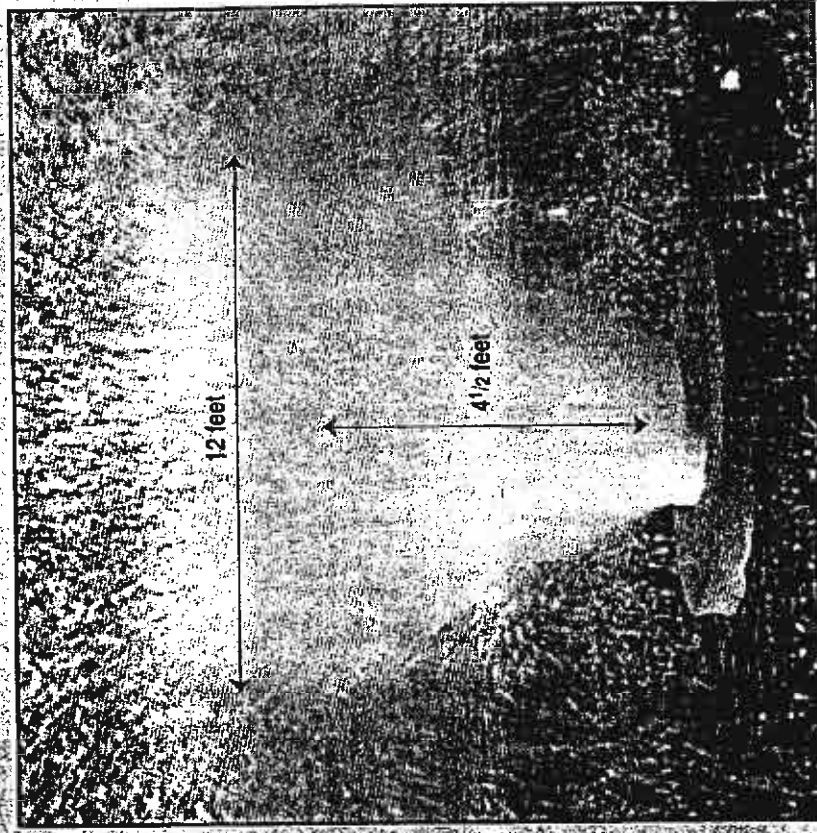
สถานที่ติดต่อ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

โทรศัพท์ 9132500-24 ต่อ 8231

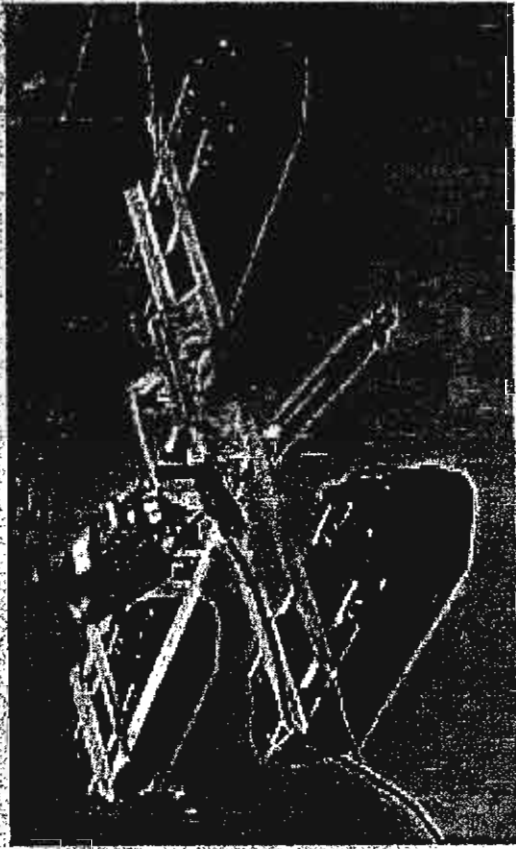
ความชำนาญ Ignition, pyrolysis, fire and combustion properties of solid waste,
Energy recovery and pollution

เครื่องเติมอากาศสามารถจำแนกได้ 2 ประเภทคือ

- 1. Mechanical Aerators ซึ่งสามารถแยกออกได้เป็น surface aerators



- submerge aerators(Aspirator)

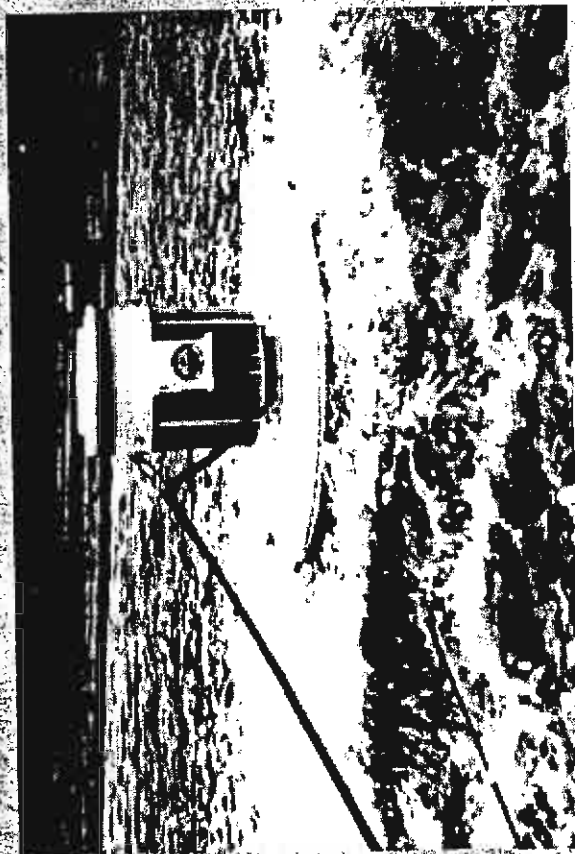


floating platform

electric motor or

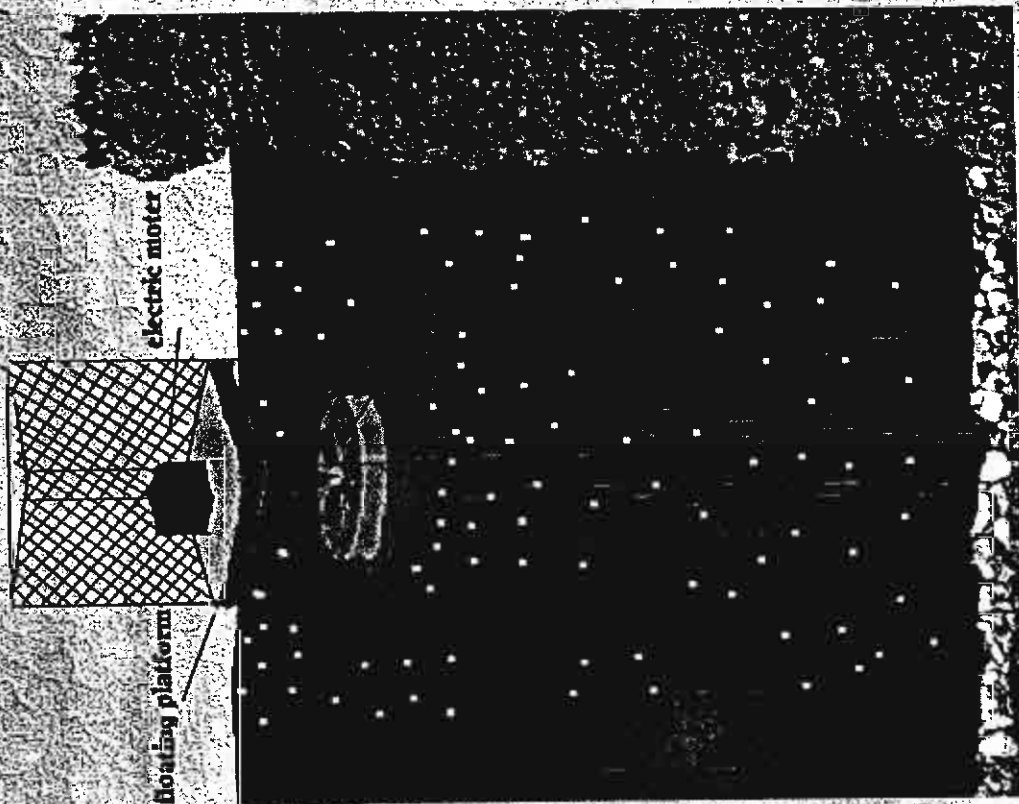


Mechanical axial flow pump

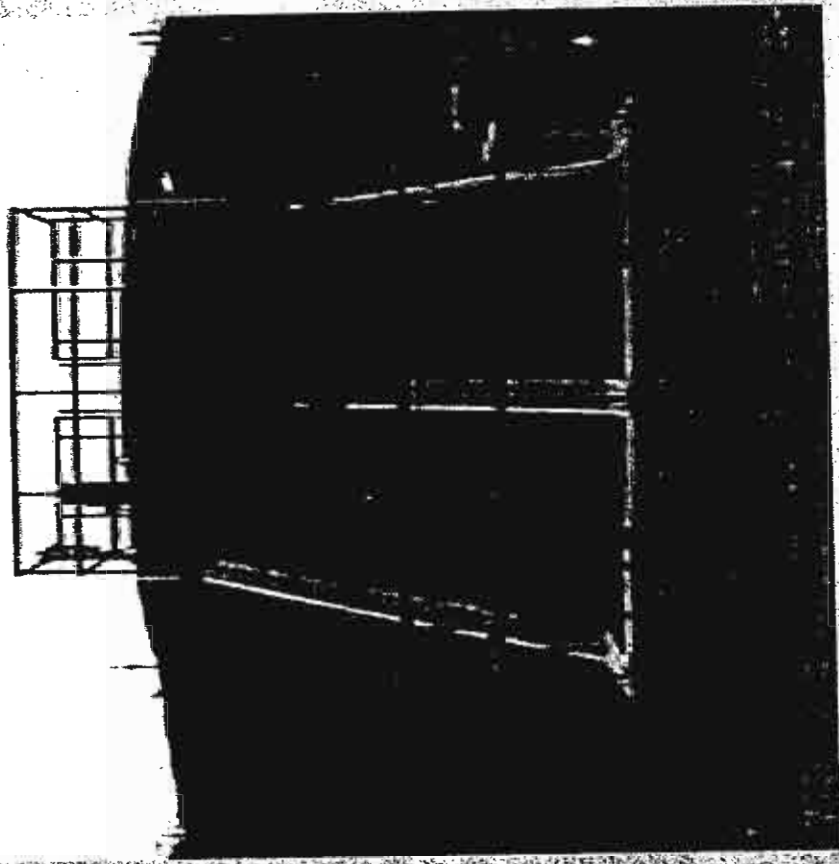
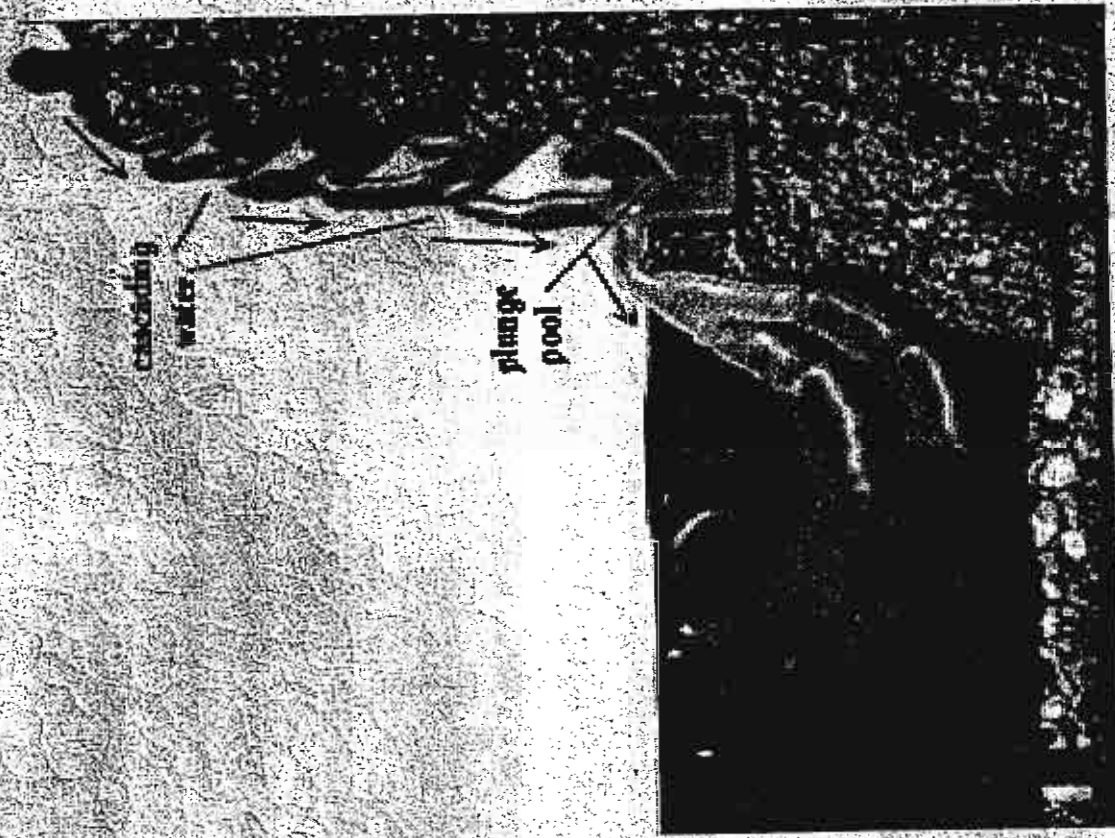


floating platform

electric motor



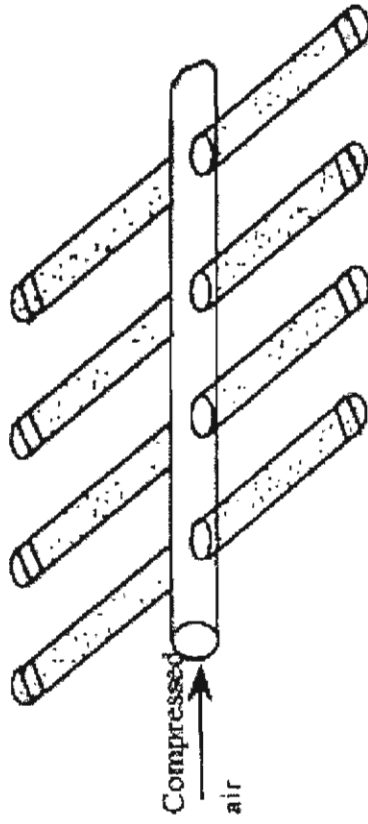
- Gravity Aerators



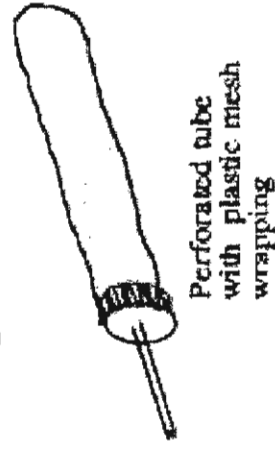
2. Diffused Aerators จะมีลักษณะการเกิดฟอง

แตกต่างกัน โดยจะขึ้นอยู่กับความดันที่ทำให้เกิดฟอง

ดังที่แสดงในรูป



(a) Fine bubble diffuser

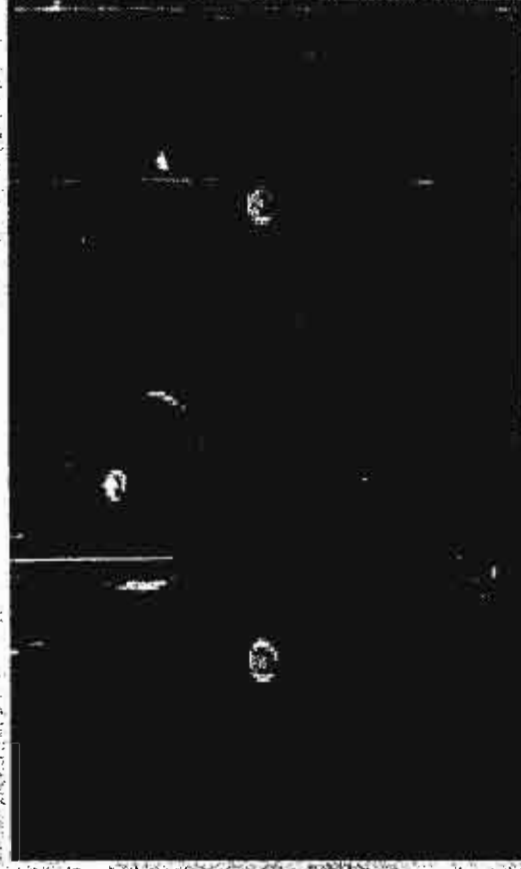


(b) Medium size bubble diffusers

Diffused aeration system

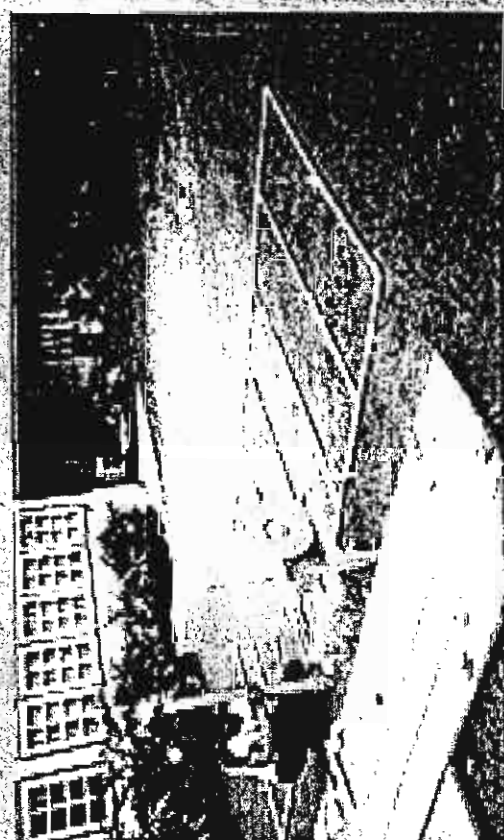
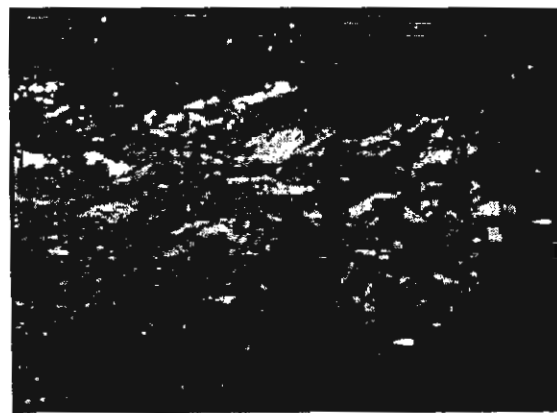
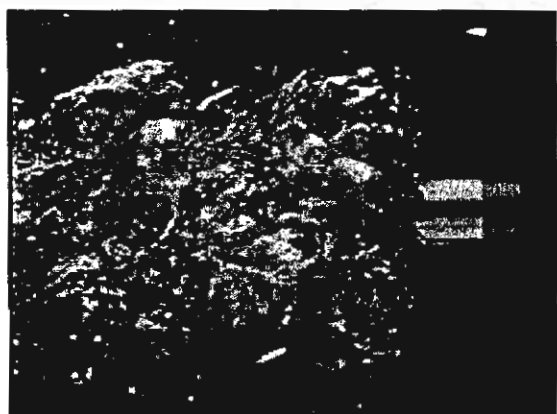
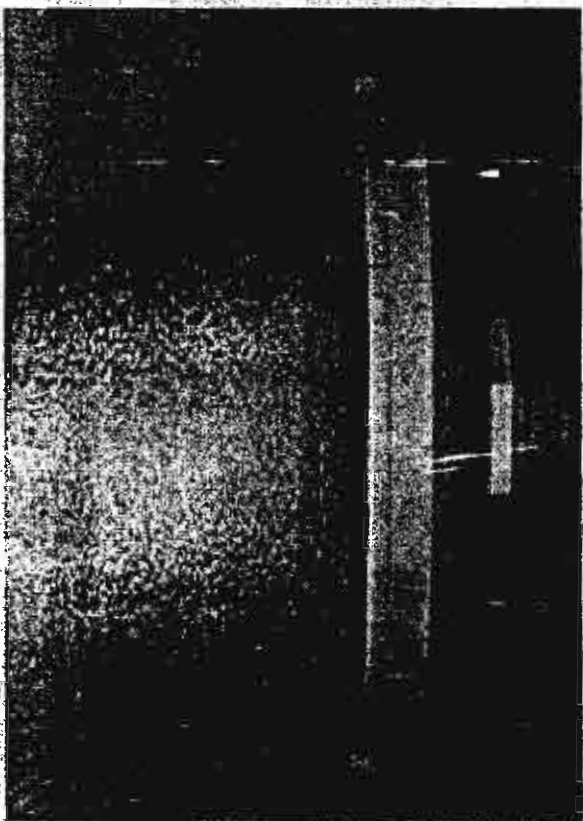


Ceramic tubular diffuser



Ceramic fine bubble diffuser

Diffuser ชนิดต่างๆ



แนวทางการจัดทำการตรวจประเมิน เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม

ดร. ชรินทร์ ทองธรรมชาติ

ผู้อำนวยการสถาบันพัฒนาเทคโนโลยีการควบคุมมลพิษ
กรมควบคุมมลพิษ



กรมควบคุมมลพิษ

ผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม 20 ชนิด

ผลิตภัณฑ์การบำบัดมลพิษทางน้ำ

ผลิตภัณฑ์การบำบัดมลพิษทางอากาศ

1. เครื่องเติมอากาศ

1. เครื่องกำจัดมลพิษทางอากาศแบบ

2. เครื่องกรองน้ำและตัวกลาง

ถุงกรอง

3. เครื่องมือตรวจวัดคุณภาพน้ำ

2. เครื่องระบายอากาศในโรงงาน

4. ระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม

อุตสาหกรรม

5. ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน

3. ฉนวนป้องกันความร้อน

6. เครื่องสูบน้ำและตะกอน

7. ถ่านกัมมันต์

ผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม20 ชนิด (ต่อ)

ผลิตภัณฑ์ด้านการจัดการขยะมูลฝอย

1. ภาชนะสำหรับบรรจุมูลฝอย

2. รถเก็บขยะมูลฝอย

3. วัสดุปูพื้นสำหรับฝังกลบมูลฝอย

4. ภาชนะบรรจุวัตถุอันตรายและ
กากของเสียอันตราย

5. เต้าเผาขยะมูลฝอยและกากของเสีย

อุตสาหกรรม

ผลิตภัณฑ์ด้านการป้องกันมลพิษทางเสียง

1. เครื่องมือตรวจวัดระดับเสียง

2. อุปกรณ์ป้องกันเสียงส่วนบุคคล

ผลิตภัณฑ์ด้านอื่นๆ

1. Recycling packaging

2. อุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคล

3. สารเคมีที่ใช้ในการบำบัดและป้องกัน

มลพิษ

ผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ที่ผลิตขึ้นในประเทศไทย

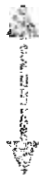
ผลการสำรวจพบว่า

- ผู้ใช้ไม่มีความมั่นใจในคุณภาพและประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์
- ผู้ใช้ไม่ทราบว่าประเทศไทยผลิตสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ชนิดนั้นๆได้
และขายอยู่ในตลาด
- ร้อยละ 90 ของผู้ใช้งานในคุณภาพและประสิทธิภาพของสินค้า
หรือผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในประเทศไทย หากได้รับการทดสอบและรับรอง
มาตรฐาน

แนวทางการตรวจสอบเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม

สำหรับผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในตลาดหรือกำลังจะเข้าตลาด

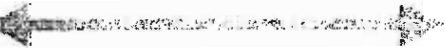
ผู้ผลิต



กรมควบคุมมลพิษ



หน่วยงานตรวจประเมิน



(Verification Organization)

หน่วยงานทดสอบ

(Testing Organization)



การตรวจประเมิน

ผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม

คพ.

ส ก ว.

สถาบันเทคโนโลยีพระ
จอมเกล้าพระนครเหนือ

• เตาเผา (2545 - 46)

• เครื่องเติมอากาศ
(2545-46)

AIT หรือหน่วยงาน
อื่น

• ระบบบำบัดน้ำเสีย
สำเร็จรูป (ปี2545)

มหาวิทยาลัย

• เครื่องกรองน้ำ

• ถ่านกัมมันต์

• อุปกรณ์ตรวจวัด

คุณภาพสด.

• อื่นๆ

ขั้นตอนการทดสอบสมรรถนะด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (Testing Protocol)

- **ยังไม่มีการทดสอบที่เป็นมาตรฐานและเป็นที่ยอมรับในประเทศไทย**
- **มาตรฐานการทดสอบของต่างประเทศ
(JIS , US , Canada)**

ประโยชน์ของการตรวจประเมินสมรรถนะด้าน สิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์

1. สืบค้นผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมที่ผลิตในประเทศที่ได้รับการยอมรับจากผู้ใช้น้อยและหน่วยงานราชการมากขึ้น
2. ผู้ใช้ข้อมูลด้านเทคนิคและสมรรถนะด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ทำให้สามารถเลือกใช้ได้อย่างถูกต้องตรงตามวัตถุประสงค์
3. เกิดการร่วมมือระหว่างภาครัฐ สถาบันการศึกษา และภาคเอกชน ผู้ผลิตในการพัฒนาสินค้าให้ดีขึ้น
4. มีข้อมูลระดับการพัฒนาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมของประเทศ

สิ่งที่ต้องดำเนินการต่อไป

1. สร้างรูปแบบการบริหารจัดการสำหรับระบบการตรวจประเมินผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมระหว่างกรมควบคุมมลพิษ หน่วยงานทดสอบ / ตรวจประเมิน และผู้ผลิต
2. จัดทำ Verification Protocols สำหรับผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมประเภทต่างๆ โดยกระบวนการมีส่วนร่วมของผู้ผลิต มหาวิทยาลัย (นักวิชาการ) หน่วยงานราชการที่กำกับดูแล ภาคเอกชน
3. พัฒนาหน่วยงานตรวจประเมิน (Verification Organization)
4. พัฒนาหน่วยงานทดสอบผลิตภัณฑ์ (Testing Organization)

การจัดตั้งศูนย์วิจัยและทดสอบการเติมอากาศ (ศวทอ)

The Center of Aeration Research and Testing (CART)

น้ำเป็นสิ่งสำคัญยิ่งสำหรับการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิต แม้อากาศที่เราจะมี
พืชน้ำเป็นส่วนใหญ่เป็นน้ำ (คือประมาณสองในสามของพื้นผิวโลก แต่น้ำส่วนใหญ่
นั้นเรามีอากาศนำมาใช้ดำรงชีพได้ (ตารางที่ 1 และ 2) ที่เราสามารถนำมาใช้ได้มีอยู่
เพียงไม่ถึง 1 % และที่น่าเป็นห่วงคือน้ำจำนวนนี้กำลังมีคุณภาพเลวลงทุกวัน ทั้งนี้
ก็เพราะมนุษย์ประกอบกิจกรรมโดยไม่ใส่ใจต่อของเสียและน้ำเสียที่เกิดขึ้น จึงทำ
ให้น้ำเสียทั้งจากชุมชน จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมไหลซึมและไหลลงสู่
แหล่งน้ำสะอาด โดยไม่มีการบำบัดก่อนล่วงหน้า หรือถ้ามีการบำบัดได้ไม่ดีเท่า

ที่ควร

กระบวนการบำบัดน้ำเสียมีหลายขั้นตอน ทั้งขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของน้ำเสีย นั้น ๆ การเติมอากาศลงในน้ำเสียเป็นขั้นตอนหนึ่งของกระบวนการบำบัด จัดเป็นขั้นตอนการบำบัดทางชีววิทยา โดยอาศัยจุลินทรีย์ชนิดใช้อากาศ (แอโรบิกแบคทีเรีย) เป็นตัวย่อยสลายมวลสารในน้ำ อุปกรณ์ที่ใช้ในการเติมอากาศในปัจจุบันมีหลายประเภท เช่น เครื่องกลกวนผิวน้ำ การพ่นฟองอากาศผ่านหัวพ่นฝอย เครื่องเติมอากาศแบบเจ็ท และเครื่องเติมอากาศแบบวอเตอร์เจ็ท เป็นต้น

ในการใช้งานจริง ปัจจุบันทำให้เกิดการประหยัดพลังงานและได้ประสิทธิภาพสูงสุด คือ เครื่องเติมอากาศที่มีอัตราการถ่ายเทออกซิเจนสูง และการเคลื่อนที่ของกระแสน้ำเพื่อให้การเติมอากาศเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอในบ่อเติมอากาศ ดังนั้น ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องเติมอากาศ (เช่น ค่าการถ่ายเทออกซิเจนต่อกำลังงาน ค่าทอร์คของอุปกรณ์) การศึกษาโปรไฟล์ยวามเร็ว และการศึกษาการกระจายตัวของฟองอากาศในบ่อ ตัวแปรเหล่านี้เป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องศึกษาควบคู่กับการตรวจวัดประสิทธิภาพของการถ่ายเทออกซิเจน

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องเติมอากาศในประเทศไทยมีหน่วยงานที่
 รองรับในวงจำกัด และวิธีการแตกต่างกัน ทำให้การพัฒนาเครื่องเติมอากาศ
 ประสบอุปสรรคในการตรวจสอบและเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องที่ได้จัด
 สร้างขึ้น เพื่อประโยชน์และเป็นกรรมต่อผู้ผลิตและพัฒนาเครื่องเติมอากาศ
 คณะวิจัยจึงเสนอจัดตั้งศูนย์ทดสอบสมรรถนะตามหลักวิชาการขึ้น ซึ่งคณะวิจัย
 เชื่อมั่นเป็นอย่างยิ่งว่าการจัดตั้งศูนย์ทดสอบที่ได้มาตรฐาน จะช่วยส่งเสริมให้เกิด
 การพัฒนาเครื่องเติมอากาศให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานได้สูงสุด

ศูนย์วิจัยและทดสอบการเติมอากาศ จะจัดสร้างปอดทดสอบได้ 2 แห่ง คือ

1. ห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สจพ. กรุงเทพมหานคร

2. ศูนย์บริการเทคโนโลยี สจพ. ปราจีนบุรี

(รูปที่ 1 และ 2)

ตารางที่ 1

แหล่งน้ำในโลก

ทะเล	97.20%
น้ำแข็ง	2.15%
น้ำผิวดิน ไนดิน ใต้ดิน	0.65%
รวม	100.00%

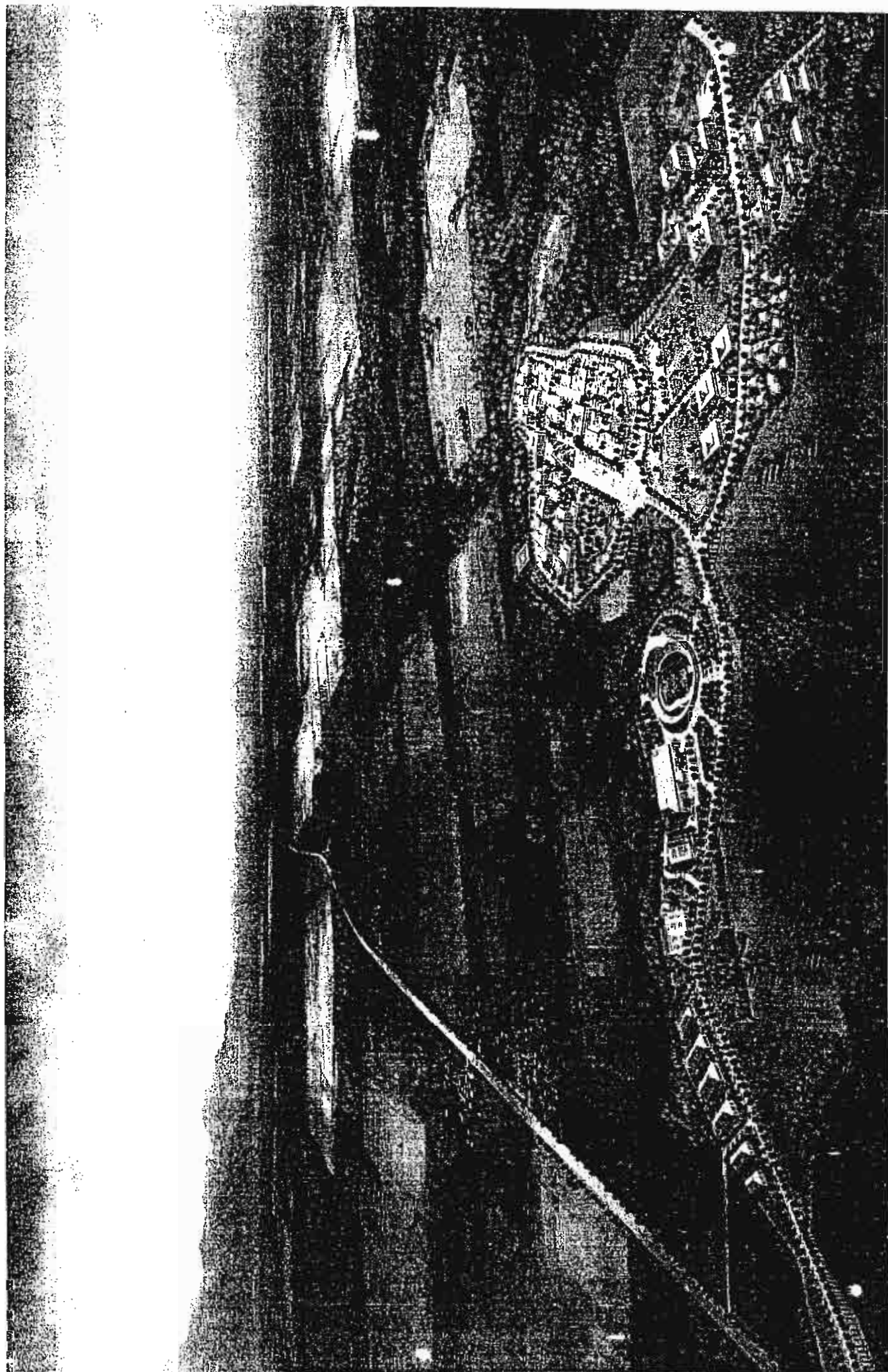
ตารางที่ 2
ปริมาณน้ำบนผิวโลกจำแนกตามแหล่งต่าง ๆ

สถานที่	ปริมาณ km ³	%
แหล่งน้ำผิวดิน		
ทะเลสาบน้ำจืด	125,000	0.009
ทะเลสาบน้ำเค็มและทะเลปิด (Inland Seas)	104,000	0.008
ค่าเฉลี่ยที่ปรากฏในแม่น้ำลำธาร	1,250	0.0001
แหล่งน้ำในดินและใต้ดิน		
น้ำในดิน (Soil moisture and intercediate zone water)	67,000	0.005
น้ำใต้ดินภายในความลึก 0.8 km	4,170,000	0.31
น้ำใต้ดินที่ระดับลึกกว่า 0.8 km	4,170,000	0.31
ภูเขาน้ำแข็งและธารน้ำแข็ง	29,200,000	2.15
ไอน้ำในบรรยากาศที่พื้นผิวโลก (ณ ระดับน้ำทะเล)	13,000	0.001
ทะเลเปิดและมหาสมุทร	1,322,000,000	97.2
รวม	1,360,000,000	100.0

ที่มา : Dr. Raymond L.Nace, U.S. Geological Survey, 1964

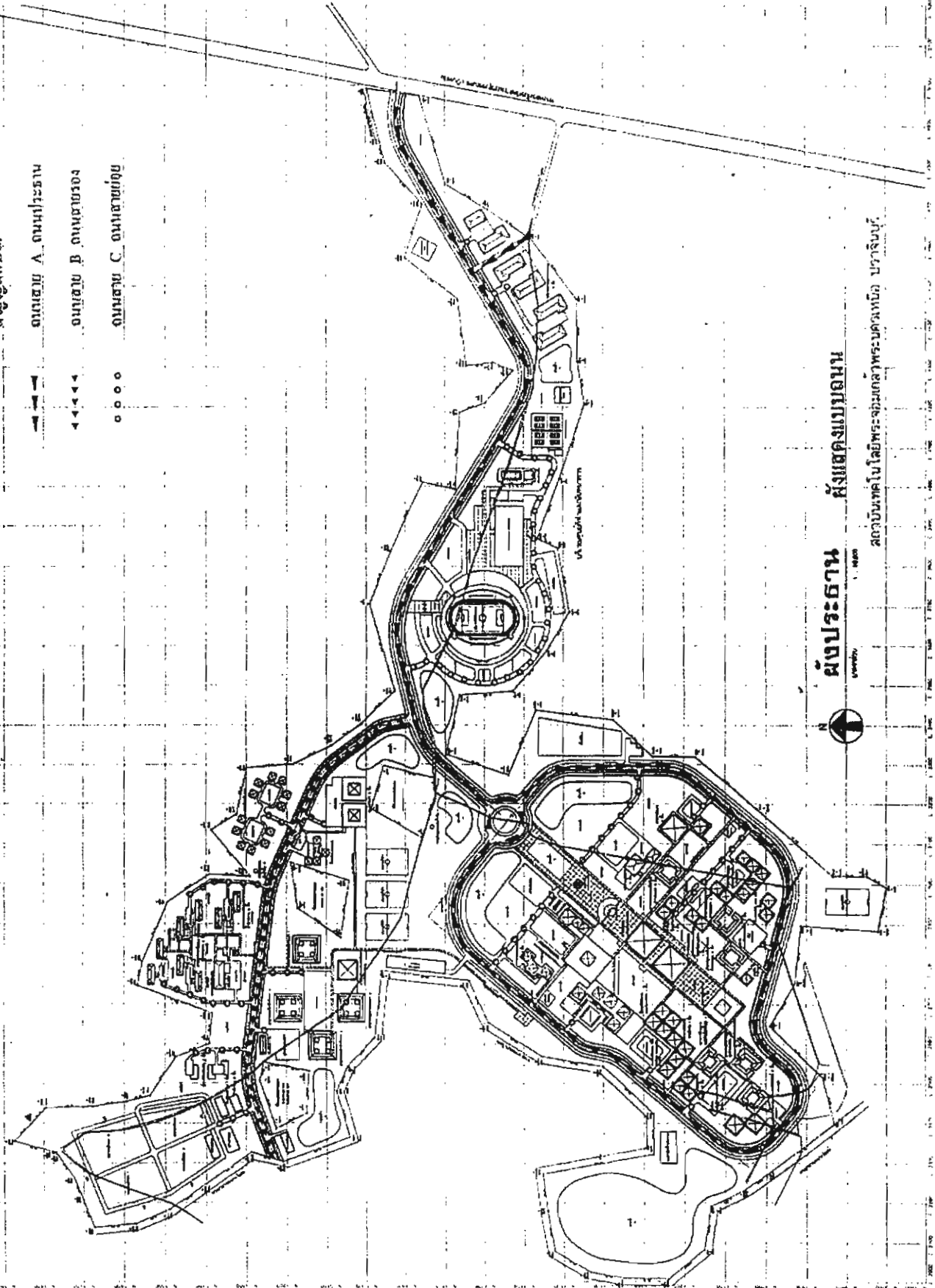
อ้างอิงใน Strahler and Strahler 1973

สิ่งแวดล้อมศึกษา มุขนิธิโลกสีเขียว 2539



สัญลักษณ์

- ถนนสาย A ถนนประธาน
- ถนนสาย B ถนนสายรอง
- ถนนสาย C ถนนสายย่อย



ผังประธาน ผังแสดงแบบถนน

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ บางเขนบุรี

ใกล้จะถึงเวลาที่ น้ำดื่ม มีค่ามากกว่าทอง

อ.สุริยนต์ เทียมเพชร

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น มีฝนตกชุกบ้างเป็นความโชคดีของคนไทย แต่หลาย ๆ คนคงรำคาญกับปัญหาที่ตามมากับน้ำฝนทั้งที่อีกหลายคนในสวนอื่นของโลกเผารอฟ่นและค้นหา น้ำ ความจริงแล้วบนโลกเรามีน้ำอยู่มากมายแต่เป็นน้ำจืดที่ปรากฏอยู่ในแหล่งน้ำผิวดิน น้ำในดิน และน้ำใต้ดินเพียงไม่ถึง 1% เท่านั้น ที่เหลือเป็นน้ำทะเล 97.2% และเป็นน้ำแข็งที่ปกคลุมภูเขาสูงกับธารน้ำแข็งประมาณ 2.51% นอกจากน้ำในแม่น้ำลำธารจะมีอยู่น้อยเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำทั้งหมดแล้ว น้ำในแม่น้ำลำธารยังไหลลงสู่ทะเลอย่างต่อเนื่องอีกด้วย ผู้เชี่ยวชาญคาดการณ์ว่าประมาณปี ค.ศ. 2040 นี้ น้ำจืดเป็นสิ่งจำเป็นในการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิตบนโลกจะถูกจำกัดลงอีกประมาณ 50% ทั้งนี้เพราะประชากรโลกจำนวนประมาณ 9.5 พันล้านคนในตอนนั้นจะต้องแย่งกันใช้น้ำจำนวนเดิมที่ปัจจุบันประชากร 6 พันล้านคนใช้กันอยู่ ในวงจรธรรมชาติของน้ำบนโลกนั้น น้ำมีจำนวนเดิมไม่มีเพิ่มใหม่อีก น้ำดื่มมีแต่จะลดน้อยลงเพราะสารเคมีจากการเกษตร อุตสาหกรรมและน้ำเสียชุมชนไหลลงไปในเจือปนในแหล่งน้ำดื่มแม้กระทั่งน้ำใต้ดิน

ปัจจุบัน 50 ประเทศจาก 188 ประเทศของสหประชาชาติตกอยู่ในสถานการณ์ขาดแคลนน้ำ ประเทศเหล่านี้ส่วนใหญ่อยู่ในทวีปแอฟริกาและแถบตะวันออกกลาง การจัดสรรน้ำของบางประเทศอยู่ในสภาวะวิกฤต เมื่อประชากรแต่ละคนมีน้ำใช้จะไม่เกิน 1700 ลิตร ซึ่งนั่นหมายความว่าเขาได้น้ำใช้กับเพียงแต่วันละประมาณ 4.7 ลิตร เมื่อเทียบกับประชากรเยอรมันที่ใช้น้ำกันโดยเฉลี่ยคนละ 128 ลิตรต่อวัน และสำหรับคนไทยเราใช้กันเฉลี่ยประมาณคนละ 250 ลิตรต่อวัน ประชากรโลกเกือบ 1.2 พันล้านคนไม่มีน้ำสะอาดให้ใช้ ทำให้ในทุก ๆ ชั่วโมงจะมีเด็กกว่า 400 คนล้มป่วยด้วยโรค ไข้รากสาดใหญ่ โรคบิด และอหิวาตกโรค ทั้งนี้ก็เพราะน้ำดื่มมีเชื้อโรคดังกล่าวปนเปื้อน แพทย์ลงความเห็นว่า ประมาณ 37% ของคนใช้ทั่วโลกที่เสียชีวิตลงนั้น เป็นคนไข้จากโรคภัยดังกล่าวข้างต้น

เหตุที่ทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำก็คือการเกษตรผิดวิธี ปุ๋ยเคมี ยาฆ่าแมลง และยากำจัดวัชพืชที่ใช้ในการเกษตรได้ไหลลงไปในแหล่งน้ำ ทำให้น้ำในแหล่งน้ำนั้นไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ดื่มกินได้อีกอย่างหนึ่งก็คือประมาณ 75% ของน้ำจืดที่มีอยู่ถูกนำไปใช้อย่างผิดวิธีในการเกษตร โดยประมาณกันว่ารัฐพิชจำนวน 4 ดันจาก 10 ดัน (หรือ 40%) นั้นมาจากการเกษตรที่ต้องใช้น้ำและแนวโน้มจะยิ่งเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ก็เพราะเป้าหมายหลักของประเทศส่วนใหญ่คือต้องการผลิต พืชพันธุ์ ธัญญาหารเพื่อเลี้ยงตนเอง และพบอยู่เสมอว่ามีการเพาะปลูกพืชที่ไม่เหมาะสมกับพื้นที่ ดังนั้นจึงต้องมีการดูแลใช้สารเคมีให้ปุ๋ยและให้น้ำเป็นพิเศษ ให้ผิดวิธี ให้เกินกว่าความต้องการจริงของพืชมากมาย ประมาณกันว่าหากประเทศในแถบตะวันออกกลางจะปลูกข้าวกันเองให้พอกินแทนที่จะนำเข้า จำเป็นต้องใช้น้ำมากกว่าน้ำที่ไหลลงสู่แม่น้ำในลทั้งหมดเสียอีก



สหรัฐอเมริกาเป็นประเทศหนึ่งที่ใช้น้ำเพื่อการเกษตรอย่างฟุ่มเฟือย ภายในระยะเวลาเพียง 50 ปีที่ผ่านมาสหรัฐอเมริกาใช้น้ำจากแหล่งน้ำใต้ดิน Ogallala Aquifer ไปมากกว่าปริมาณน้ำที่ไหลซึมลงมาในแหล่งน้ำนี้มาถึง 500,000 ปี ซึ่งผลร้ายที่จะตามมายังไม่สามารถคาดการณ์ได้

ปัญหาหลักของความสิ้นเปลืองน้ำเพื่อการเกษตรนี้อยู่ที่ลักษณะการให้น้ำ โดยเฉพาะการฉีดสเปรย์น้ำเพื่อทำฟืนเทียม ซึ่งน้ำที่ฉีดสเปรย์ออกไปจะไปถึงจุดที่ต้องการจริงๆ เพียงประมาณ 40% เท่านั้น ที่เหลืออีก 60% ระเหยไปบ้าง ไหลเลยไปหรือไม่ตรงจุดที่ต้องการบ้าง ความสูญเสียเหล่านี้สามารถทำให้ลดลงได้กว่า 50% โดยอาศัยระบบการให้น้ำสมัยใหม่ของอิสราเอล แต่มันก็เป็นระบบที่แพงเกินไปสำหรับเกษตรกรส่วนใหญ่

การรั่วซึมของระบบท่อน้ำในเมืองใหญ่เป็นอีกปัญหาหนึ่งของการสูญเสียน้ำ จากรายงานของสหประชาชาติกล่าวว่าท่อน้ำ ทั้งระบบน้ำใช้และน้ำทิ้งของเมืองต่างๆ ส่วนใหญ่ชำรุดรั่วซึม ประมาณ 50% ของน้ำที่รั่วทิ้งไปเปล่า ๆ จากท่อน้ำใช้ที่ชำรุดส่วนอีกเกือบ 50% ที่เหลือเมื่อถูกใช้ กลายเป็นน้ำเสียแล้วไม่ผ่านระบบบำบัด ถูกปล่อยไหลลงไปในน้ำลำคลอง สร้างความเสียหายต่อแม่น้ำลำคลอง อีกส่วนหนึ่งแม้จะไหลไปในท่อน้ำทิ้งเพื่อไปยังโรงบำบัด แต่ท่อน้ำทิ้งก็ชำรุด น้ำเสียจึงรั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน สร้างความเสียหายต่อระบบน้ำใต้ดินเช่นกัน ประมาณกันว่าน้ำเสียเพียง 5% เท่านั้นที่ผ่านการบำบัดแล้วไม่ก่อให้เกิดมลภาวะและสามารถนำกลับไปได้ผ่านกระบวนการผลิตน้ำเพื่อการอุปโภคและบริโภคได้อีก ดังนั้น จะเห็นได้ว่าน้ำทั้งส่วนใหญ่ก่อความเสียหายทั้งต่อน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน ซึ่งเป็นแหล่งน้ำดีตามธรรมชาติ

อ่างเก็บน้ำหรือทะเลสาบเทียมที่มนุษย์สร้างขึ้นยังคงเป็นปัญหาที่ตกลงกันไม่ได้ทั้งในแง่ของนิเวศวิทยา และการเมือง ตัวอย่างเช่น โครงการสร้างเขื่อนขนาดใหญ่ของตุรกีซึ่งปิดกั้นแม่น้ำ Euphrat และ Tigris ก่อให้เกิดการประท้วงจากประเทศเพื่อนบ้านซีเรียและอิรัก ทั้งสองประเทศนี้อยู่ท้ายน้ำจึงเกรงว่าจะเกิดปัญหากับระบบการจ่ายน้ำของประเทศตนเองได้ นาย Boutros Boutros Ghali อดีตเลขาธิการสหประชาชาติเคยกล่าวเตือนเอาไว้ว่า “สงครามครั้งต่อไปมิได้เกิดจากการเมืองแต่จะเกิดจากการแย่งน้ำกันใช้” เพราะแม่น้ำในโลกนี้มีมากกว่า 240 สายไหลผ่านประเทศหนึ่งเข้าไปในอีกประเทศหนึ่ง อาจเป็นชนวนก่อให้เกิดสงครามระหว่างประเทศได้ เขาจึงเสนอให้มีการทำข้อตกลงนานาชาติขึ้น ซึ่งจะระบุถึงสิทธิในการใช้น้ำจากแหล่งน้ำร่วมกัน

ผู้เชี่ยวชาญเรื่องน้ำต่างลงความเห็นเป็นหนึ่งเดียวกันว่าจำเป็นต้องยอมให้เอกชนเป็นผู้ลงทุน เพื่อที่ประชากรของแต่ละประเทศจะได้รอดพ้นต่อการขาดแคลนน้ำ เลขาธิการสหประชาชาติประมาณการว่า ถ้าจะให้ประชากรทางซีกโลกใต้มีน้ำสะอาดใช้อย่างเพียงพอจำเป็นต้องใช้งบประมาณมากกว่า 50 พันล้าน \$US แต่การลงทุนนี้จะมีกำไรก็ต่อเมื่อประเทศเหล่านั้นจะปรับนโยบายเรื่องราคากันเสียใหม่ เพราะปัจจุบันราคาน้ำถูกเกินไป ต้องลดการสนับสนุนการใช้น้ำอย่างฟุ่มเฟือย ตัวอย่างเช่น ชาวนาในดัลลัสฟอร์เนียจ่ายค่าน้ำเพียงแค่ 2% ในปากีสถานแค่ 13% จากราคาจริงของน้ำ คงต้องมีการขึ้นราคาน้ำไปทั่วโลก

นาย Klaus Töpfer ซึ่งเป็นหัวหน้าโครงการสิ่งแวดล้อมขององค์การสหประชาชาติ เรียกร้องให้ใช้นโยบายประณีประนอมไม่ให้คนจนต้องเสียเปรียบ ในขณะที่เดียวกันต้องกำจัดความฟุ่มเฟือยออกไป

มาตรฐานและทฤษฎีการวัดประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศ

โดย

ผศ.ดร.อนุรักษ์ ปีติรักษ์สกุล

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

มาตรฐานและทฤษฎีการวัดประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศ

✓ มาตรฐานทดสอบเครื่องเติมอากาศที่สำคัญ

1. มาตรฐาน ASCE (American Society of Civil Engineers)

Measurement of oxygen transfer in clean water

2. German ATV Standard (Wastewater-Waste)

Advisory Leaflet ATV-M209E Measurement of the Oxygen Transfer in
Activated Sludge Aeration Tanks with Clean Water and in Mixed Liquor

3. prEN 12255-15

Wastewater treatment plants-part 15: Measurement of the Oxygen
Transfer in Clean Water in Activated Sludge Aeration Tanks

มาตรฐานและทฤษฎีการวัดประสิทธิภาพเครื่องเดิมอากาศ

✓ การทดสอบ

1. การทดสอบในน้ำสะอาด
2. การทดสอบในน้ำกระบวนกร

วิธีการทดสอบในน้ำสะอาดเป็นวิธีสำคัญ คือ การกำจัดออกซิเจนที่ละลายในน้ำโดยใช้สารเคมี ได้แก่ โซเดียมซัลไฟท์จากนั้นเริ่มให้อากาศจนออกซิเจนละลายกลับลงไปใต้น้ำจนถึงจุดอิ่มตัว เมื่อทำการเก็บข้อมูลของการละลายออกซิเจนในน้ำที่เวลาต่างๆ แล้ว สามารถนำกลับมาคำนวณหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล

มาตรฐานและทฤษฎีการวัดประสิทธิภาพเครื่องเดิมอากาศ

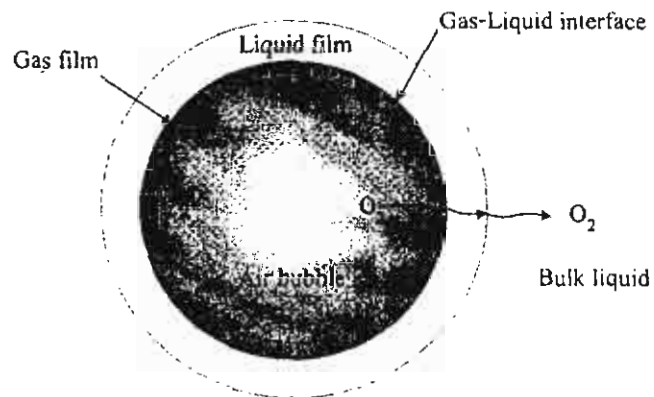
✓ หลักการถ่ายเทออกซิเจนที่ต้องการในเครื่องเดิมอากาศ

1. ต้องการพื้นที่สัมผัสระหว่างอากาศกับน้ำสูงสุด

เช่น ฟองอากาศเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 mm มีปริมาตร 65.45 mm^3 พื้นที่ผิว 78.54 mm^2 ถ้าฟองอากาศนี้ถูกทำให้เป็นฟองอากาศขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 mm ที่ปริมาตร 65.45 mm^3 จะได้ฟองอากาศจำนวน 125 ฟอง คิดเป็นพื้นที่ผิว 392.7 mm^2 หรือมีพื้นที่มากกว่าประมาณ 5 เท่าของฟองอากาศขนาด 5 mm

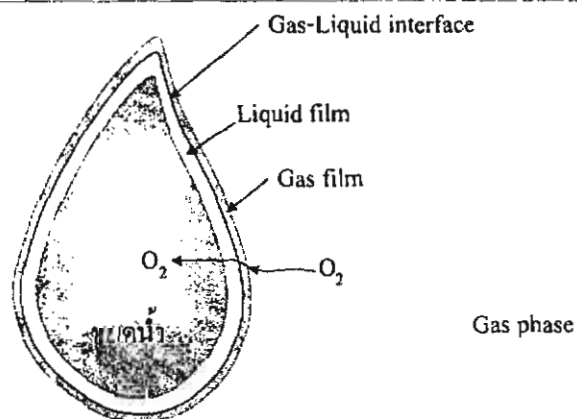
2. เวลาสัมผัสนาน
3. ใช้พลังงานต่ำ

มาตรฐานและทฤษฎีการวัดประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศ



กลไกการถ่ายเทออกซิเจนจากฟองอากาศสู่น้ำ

มาตรฐานและทฤษฎีการวัดประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศ



กลไกการถ่ายเทออกซิเจนจากอากาศสู่น้ำ

มาตรฐานและทฤษฎีการวัดประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศ

✓ อัตราการถ่ายเทออกซิเจนเชิงปริมาตร

rate of mass transfer = volumetric mass transfer coefficient × driving force
per unit volume of liquid

$$W = K'_L a (C^* - C)$$

W = mass transfer rate per unit volume of liquid

$K'_L a$ = overall volumetric mass transfer coefficient in clean water

C^* = dissolved oxygen saturation concentration

C = dissolved oxygen concentration

มาตรฐานและทฤษฎีการวัดประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศ

✓ อัตราการถ่ายเทออกซิเจนเฉลี่ยเชิงปริมาตรปรากฏ (apparent average volumetric mass transfer)

$$OTR = K_L a V (C_\infty^* - C)$$

OTR = mass transfer rate per unit volume of liquid

$K_L a$ = overall volumetric mass transfer coefficient in clean water

C_∞^* = dissolved oxygen saturation concentration

C = dissolved oxygen concentration

V = liquid volume of the aeration system

มาตรฐานและทฤษฎีการวัดประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศ

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

C_{∞}^* = dissolved oxygen saturation concentration

C = dissolved oxygen concentration

C_0 = dissolved oxygen concentration at time zero

V = liquid volume of the aeration system

t = time

มาตรฐานและทฤษฎีการวัดประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศ

✓ ผลของอุณหภูมิ (Theta and Tau factors)

$$\theta^{(n-20)/10} = \frac{K_L a_T}{K_L a_{20}} \quad \text{และ} \quad \tau = \frac{C_{s,T}^*}{C_{s,20}^*}$$

ค่าของตัวห้อย T แสดงถึงอุณหภูมิของน้ำในกระบวนการทดสอบ

θ = empirical temperature correction factor เท่ากับ 1.024

$C_{s,20}^*$ = dissolved oxygen surface saturation concentration at 20°C, 1 atm, 100%RH

$C_{s,T}^*$ = dissolved oxygen surface saturation concentration at test temperature, 1 atm, 100%RH

มาตรฐานและทฤษฎีการวัดประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศ

$$SOTR = V \frac{\sum_{i=1}^n K_L a_{20i} C_{\infty 20i}}{n}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^n SOTR_i}{n}$$

โดย $SOTR_i = K_L a_{20i} C_{\infty 20i} V$

$$C_{\infty 20} = C_{\infty} \left(\frac{1}{\Omega} \right)$$

Ω = pressure correction factor ที่ความลึกต่ำกว่า 6.1 เมตร $\Omega = P_b/P_s$

P_b และ P_s = barometric pressure at test site and standard pressure 1.0 atm

มาตรฐานและทฤษฎีการวัดประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศ

✓ ผลของ water characteristics (Alpha and beta factors)

$$\alpha = \frac{K_L a_f}{K_L a} \quad \text{และ} \quad \beta = \frac{C_{\infty f}}{C_{\infty}}$$

ตัวห้อย f แสดงถึงสถานะน้ำในกระบวนการ

$K_L a$ = overall volumetric mass transfer coefficient in clean water

C_{∞} = dissolved oxygen saturation concentration

ค่า α factor มีค่าประมาณจาก 0.2 ถึงมากกว่า 1.0 ซึ่งเป็นผลมาจากหลายปัจจัย ได้แก่

ความเข้มข้นของสาร surfactants การผสม กัมมันตภาพรังสี ปริมาณของดิน ขนาดของถังเติมอากาศ และเครื่องเติมอากาศ ขนาดของฟองอากาศ และลักษณะของน้ำเสีย

ค่า β factor มีค่าประมาณจาก 0.8 ถึง 1.0

มาตรฐานและทฤษฎีการวัดประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศ

✓ Standard Aeration Efficiency (SAE)

$$SAE = \text{SOTR/power input}$$

โดย power input อาจเป็น wire power, total wire power, delivered power หรือ brake power ก็ได้แต่ควรมีการระบุให้ชัดเจน

Wire power = electrical power drawn by a motor

Total wire power = sum of blower, turbine, and pump wire powers

Total delivered power = delivered blower power + delivered turbine power + delivered pump power

มาตรฐานและทฤษฎีการวัดประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศ

✓ Delivered blower power

$$DBP = \frac{wRT_1}{K} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^k - 1 \right]$$

โดย w = weight flow rate of gas

R = gas constant

T_1 = absolute temperature before compression

P_1 = absolute pressure before compression

P_2 = absolute pressure before compression

k = ratio of specific heats = 1.4 for air

$K = (k-1)/k, = 0.283$ for air

มาตรฐานและทฤษฎีการวัดประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศ

✓ Delivered turbine power

$$DTP = 2\pi T_q \left[\frac{N_r}{3.3 \times 10^4} \right]$$

โดย N_r = rotational speed(rad/s)

T_q = torque measured using either a dynamometer strain gauge(Nm)

✓ Delivered pump power

$$DPP = \frac{Q_w (TDH)(SG)}{3,960}$$

โดย Q_w = liquid flow rate (m³/s)

TDH = total dynamic head (m)

SG = specific gravity of water at test temperature

มาตรฐานและทฤษฎีการวัดประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศ

✓ Oxygen Transfer Efficiency(OTE)

ที่สภาวะมาตรฐาน แทนด้วย SOTE

$$SOTE = SOTR/W_{O_2}$$

โดย

SOTE = standard transfer efficiency as a fraction

W_{O_2} = mass flow of oxygen in air stream (kg/s) และ $W_{O_2} = 0.2765Q_s$,

Q_s = air flow rate at standard conditions (m³/s)

H a r i k u l

บริษัท หริกุล กรุ๊ป จำกัด

Dissolved Oxygen Measurement Technique

ที่อยู่ติดต่อก่อน
เดือนสิงหาคม 2545

28/3-4 สุขุมวิท 69 เขตอโศก กรุงเทพฯ 10110
Tel. 0-2382-4590(-2) 0-2391-8100 Fax. 0-2391-8100 Email. harikul@inet.co.th

ที่อยู่ติดต่อหลัง
เดือนสิงหาคม 2545

691 ซอยรัชดาภิเษก 24 เขตปทุมธานี กรุงเทพฯ 10320
Tel. 0-2274-2456 (auto 6 line) Fax. 0-2274-2443 Email. info@harikul.com



บริษัท หริกุล กรุ๊ป จำกัด

**Dissolved Oxygen Measurement
Technique**

ผู้จัดทำเอกสาร นาง.สุภาวดี งาม ผู้ตรวจสอบเอกสาร นาง.สุภาวดี งาม	เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัท หริกุล กรุ๊ป จำกัด การเผยแพร่เอกสารนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากบริษัท จะถือว่าผิดกฎหมาย
---	---

วิธีมาตรฐานการวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

- Winkler Method
การวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำด้วยวิธี Winkler
- Membrane Electrode Method
การวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำด้วยวิธี Membrane Electrode

Winkler (Iodometric) Method

- หลักการ
 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับไอโอดีนไดไฮไดรด์ (I₂) เป็น I⁻ ในสารละลายที่มี I⁻ ออกซิไดส์เป็น I₂ ปริมาณ I₂ ที่เกิดจะแปรผันกับปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ
 การวัดค่าโดยวิธี Winkler (Iodometric) Method จะใช้สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต (K₂Cr₂O₇) เป็นสารละลายมาตรฐานไทเทรตด้วยโซลูชันโซลูชัน

Winkler (Iodometric) Method

• ปัญหา

- NO_3^- / Fe^{3+} มีปฏิกิริยาที่ช้ากว่ากับ KI (ออกซิไดส์) เป็น I_2
- SO_4^{2-} / S^{2-} / Fe^{3+} มีปฏิกิริยาที่ช้ากว่ากับ KI (ออกซิไดส์) เป็น I_2

• การแก้ปัญหา

- The Azide Modification
- Ruckel-Schwann (Permanganate) Modification
- The Alkalimetric Potentiometric Modification
- Alkali Flocculation Modification

Membrane Electrode Method

• หลักการ

- Electrode 2 ขั้วทำด้วยโลหะ 2 ชนิด
- ภายในบรรจุ Electrolyte คละแยกจากตัวอย่างน้ำโดย Membrane
- ออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะผ่าน Membrane ทำปฏิกิริยา
- เติมน้ำ Electrode ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น
- ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับกระแสไฟฟ้าที่วัดขึ้น

Membrane Electrode Type

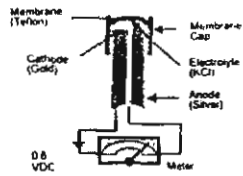
• Galvanic Electrode

- ขั้วโลหะ 2 ขั้ว (Silver / Silver Chloride)
- ปฏิกิริยาที่ H_2O / O_2 เกิดขึ้นที่ขั้วออกซิเจนและขั้วโลหะ โดยน้ำจะไหลเวียน
- มีขั้วออกซิเจนและขั้วโลหะที่ต่างกัน

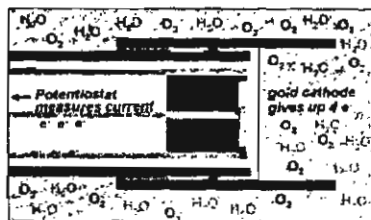
• Polarographic Electrode

- ขั้วโลหะ 2 ขั้ว (Silver / Silver Chloride)
- ปฏิกิริยาที่ H_2O / O_2 เกิดขึ้นที่ขั้วออกซิเจนและขั้วโลหะ โดยน้ำจะไหลเวียน
- Electrode ที่ทำงานเป็นขั้วออกซิเจน ไม่มีปัญหาเรื่องขั้วออกซิเจน (Hodson)

Polarographic Sensor



Polarographic Sensor

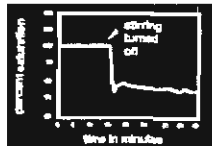


Membrane Electrode Method

• ปัญหา

- การเปลี่ยนแปลงของน้ำยาใน Electrode
- ความดันบรรยากาศ (Atmospheric Pressure)
- อุณหภูมิ (Temperature)
- Long Strength Electrode Sensitivity ซึ่งจ.ตามปริมาณปริมาณเกลือหรือความเค็ม (Salinity) ในน้ำขึ้นๆ

Non-Stirring Effect



Membrane Electrode Method

• การแก้ปัญหา

- "Stir" or "Stirring Independent Electrode"
(มีระบบปรับชดเชยการกวนในตัว)
- Calibration (การปรับเทียบ)
Temperature Sensor (ระบบปรับชดเชยอุณหภูมิในตัว) หรือ
Conductivity Sensor which built-in Salinity Measurement Program
(ระบบปรับชดเชยความเค็มในตัว) or Built-in Salinity Compensation
(ระบบปรับชดเชยความเค็มในตัว)



Measuring Technique

• Spot Checking

- Portable DO Meter with ATC
- Portable DO Meter with ATC and Salinity Compensation



• Online Monitoring

- DO Online with ATC
- DO Online with ATC and Salinity Compensation

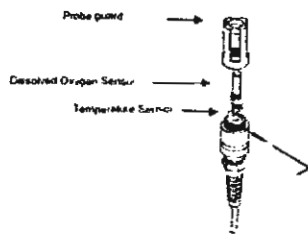


Online Monitoring

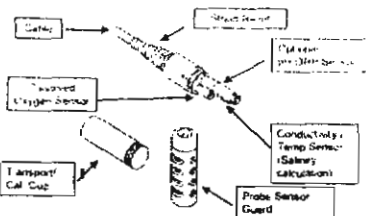
- Dissolved Oxygen
- Temperature
- Conductivity
- Salinity



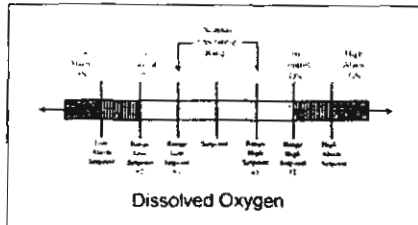
Probe Module (1)



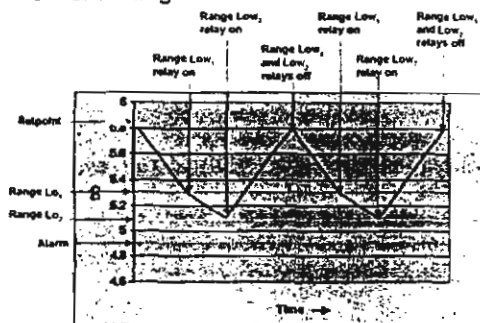
Probe Module (2)



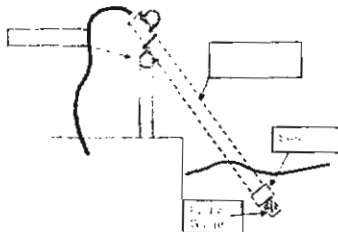
Controlling



DO Controlling



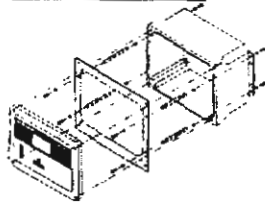
Probe Mounting



Display Mounting

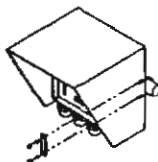


Rail Mount



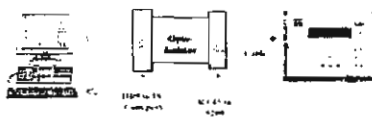
Wall Mount

Weather Shield



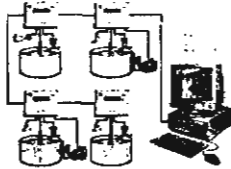
Opto-Isolator

Use to prevent ground loops when permanently connecting the 5200 to AC-powered computer.



Networking System

- RS-232 / TCP/IP Support
- RS-485 Communication
- Master / Slave Configuration
- 32 Slave 1 Comm Port
(31 Slave + 1 Master)



Harikul

บริษัท ทรินกุล กรุ๊ป จำกัด

Questions ?

A.3.2 Altitude

The mean atmospheric pressure as a function of altitude can be calculated by the Schmassmann equation

$$\log_{10} p_h = \log_{10} 101,3 - \frac{h}{18400}$$

where p_h is the mean atmospheric pressure, in kilopascals, at altitude h , in metres.

Table A.1 — Solubility of oxygen in water as a function of temperature and salinity

Temperature °C	Solubility of oxygen in water in equilibrium with air at 101,325 kPa [$\rho(\text{O}_2)$] mg/l	Correction to be subtracted for each degree of salinity expressed in grams per kilogram of total salts in water [$\Delta\rho(\text{O}_2)$] mg/l
0	14,82	0,087 5
1	14,22	0,084 3
2	13,83	0,081 8
3	13,48	0,078 9
4	13,11	0,076 0
5	12,77	0,073 9
6	12,45	0,071 4
7	12,14	0,069 3
8	11,84	0,067 1
9	11,56	0,065 0
10	11,29	0,063 2
11	11,03	0,061 4
12	10,78	0,059 3
13	10,54	0,058 2
14	10,31	0,056 1
15	10,08	0,054 5
16	9,87	0,053 2
17	9,66	0,051 4
18	9,47	0,050 0
19	9,28	0,048 9
20	9,09	0,047 5
21	8,91	0,046 4
22	8,74	0,045 3
23	8,58	0,044 3
24	8,42	0,043 2
25	8,26	0,042 1
26	8,11	0,040 7
27	7,97	0,040 0
28	7,83	0,038 9
29	7,69	0,038 2
30	7,56	0,037 1

Table A.2 — Solubility, $\rho'(O)_s$, of oxygen in water as a function of temperature and pressure

Temperature °C	Pressure [kPa (atm) ¹⁾]						
	111,5 (1,1)	101,3 (1,0)	91,2 (0,9)	81,1 (0,8)	70,9 (0,7)	60,8 (0,6)	50,7 (0,5)
	Solubility, $\rho'(O)_s$ (mg/l)						
0,0	16,09	14,82	13,14	11,69	10,21	8,74	7,27
5,0	14,06	12,77	11,48	10,20	8,91	7,62	6,34
10,0	12,43	11,29	10,15	9,00	7,86	6,71	5,58
15,0	11,10	10,08	9,05	8,03	7,01	5,98	4,96
20,0	10,02	9,09	8,14	7,23	6,30	5,37	4,44
25,0	9,12	8,26	7,40	6,56	5,70	4,84	4,00
30,0	8,35	7,56	6,76	5,99	5,19	4,60	3,82
35,0	7,69	6,95	6,22	5,47	4,75	4,01	3,28
40,0	7,10	6,41	5,72	5,03	4,34	3,65	2,96

1) Units at standard barometric pressure (normal atmospheric pressure at sea level): 101,325 kPa, = 101,325 kN/m²
= 1 atm = 760 mmHg.

Table A.3 — Variation of atmospheric pressure with respect to altitude

Altitude, h m	Mean atmospheric pressure, p_h kPa	Altitude, h m	Mean atmospheric pressure, p_h kPa
0	101,3	1100	88,3
100	100,1	1200	87,2
200	98,8	1300	86,1
300	97,6	1400	85,0
400	96,4	1500	84,0
500	95,2	1600	82,9
600	94,0	1700	81,9
700	92,8	1800	80,9
800	91,7	1900	79,9
900	90,5	2000	78,9
1000	89,4	2100	77,9

เทคนิคการวัดกำลังของเครื่องเติมอากาศ

- 1) ปัจจัยที่มีผลต่อการวัด
- 2) มาตรฐานที่ใช้ในการอ้างอิงสำหรับการวัด
- 3) นิยาม, กำลังที่จ่าย (Delivered power)
- 4) การวัดกำลังทางไฟฟ้า

1) ปัจจัยที่มีผลต่อการวัด

- ชนิดของอุปกรณ์เติมออกซิเจน (aerator)

Blower, Turbine หรือ Pump

- เงื่อนไขของการทดสอบ

Gas rate, Power condition

2) มาตรฐานที่ใช้ในการอ้างอิงสำหรับการวัด

- การวัดกำลังที่เพลลา (Shaft power measurement) – ASME Power Test Code PTC 19.7 (i)
- การวัดกำลังทางไฟฟ้า (Electrical power measurement) – ASME Power Test Code PTC 19.6 (i)
- การวัดแรงดัน (Pressure measurement) – ASME Power Test Code PTC 19.2 (i)
- การวัดความเร็วของโรตารี (Rotary speed measurement) – ASME Power Test Code PTC 19.13 (i)

3

3) นิยาม (Definition)

3.1 กำลังที่จ่ายให้เครื่องเป่าลม (Delivered Blower Power)

$$\text{Delivered Blower Power} = \frac{wRT_1}{K} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^k - 1 \right]$$

4

ซึ่ง

w = weight of flow rate of gas [ft^3]

R = ค่าคงที่ของแก๊ส [LT^{-1}]

T_1 = อุณหภูมิสมบูรณ์ก่อนอัด [T]

P_1 = ความดันสมบูรณ์ก่อนอัด [fL^{-2}]

P_2 = ความดันสมบูรณ์หลังอัด [fL^{-2}]

k = อัตราส่วนของความร้อนจำเพาะของแก๊ส C_p/C_v , ไม่มีหน่วย = 1.4 สำหรับอากาศ และ

$K = (k-1)/k$, ไม่มีหน่วย = 0.283 สำหรับอากาศ

5

3.2 กำลังที่จ่ายให้กังหัน (Delivered Turbine Power)

$$\text{Delivered Turbine Power} = 2\pi T_q \left[\frac{N_r}{3.3 * 10^4} \right]$$

ซึ่ง

T_q = ทอร์กที่วัดได้โดยใช้ cradled dynamometer หรือ surface strain dynamometer [ft lb, Nm]

N_r = ความเร็วในการหมุน [rpm, rad/s]

6

Standard Aerator Efficiency (SAE)

หรืออาจจะเรียกว่า oxygen transfer per unit power input

$$SAE = SOTR / \text{Power Input}$$

หน่วยเป็น [lb/hp-H หรือ kg/kW-H]

10

3.3 กำลังที่จ่ายให้ปั๊ม (Delivered Pump Power)

$$\begin{aligned} \text{Delivered Pump Power} &= \frac{Q_w (\text{TDH})(\text{SG})}{3960} \\ &= Q_w (\text{TDH})(W) \end{aligned}$$

7

3.4 กำลังทั้งหมดที่จ่าย (Total Delivered Power)

$$\text{Wire Power} = \frac{\text{Delivered Power}}{e_a e_b e_c \dots}$$

ซึ่ง

e_a, e_b, e_c = ประสิทธิภาพของอุปกรณ์แต่ละตัวที่นำมาต่อเชื่อมกัน เช่น มอเตอร์, เกียร์, เครื่องเป่าลม, ...

9

Efficiency in induction motors and variable speed drives: not an easy problem

P. Van Roy, B. Slaets, R. Belmans,
Katholieke Universiteit Leuven, Belgium

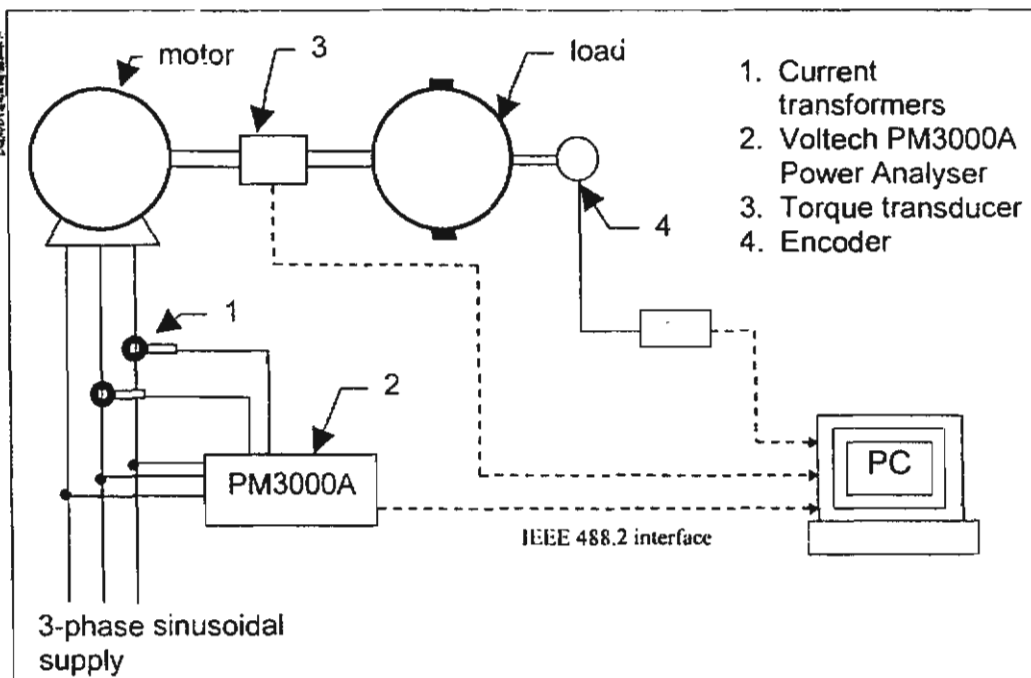
1. Introduction

- Induction motors use more than 50% of total electricity in industrialised countries
- Already high efficiency, can still be improved
- Different efficiency standards give different results
- Comparison between motors requires reliable standard
- With converters: no standards yet

2. Efficiency standards

- The loss consists of five components:
 - Stator copper losses: P_{stator}
 - Iron losses: P_{Fe}
 - Rotor copper losses: P_{rotor}
 - Friction and windage losses: $P_{\text{fr,w}}$
 - Stray load losses: $P_{\text{additional}}$
- P_{Fe} and $P_{\text{fr,w}}$: from no-load test
- P_{stator} and P_{rotor} : from R, s and P_{in}
- $P_{\text{additional}}$: can not be measured directly

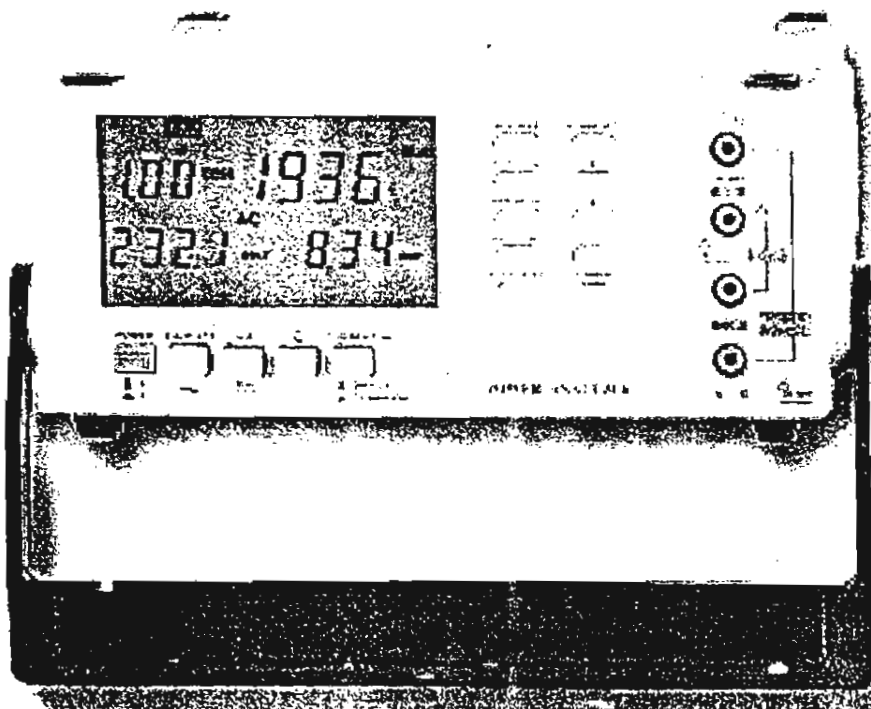
3. Measurement set-up



Induction Motor Efficiency

KULeuven

Belgium



แบบสอบถาม

การสัมมนาเชิงปฏิบัติการ

หัวข้อเรื่อง "ข้อกำหนดในการทดสอบเครื่องเติมอากาศ ครั้งที่ 1"

วันศุกร์ที่ 10 พฤษภาคม 2545 เวลา 8.30 – 16.30 น.

ณ ห้องลานชมพู่ อาคาร 81 ชั้น 4 คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1. ท่านคิดว่าได้ประโยชน์จากการสัมมนาในครั้งนี้อย่างไร ?

.....

.....

.....

.....

.....

2. ท่านคิดว่าได้รับประโยชน์จากการบรรยายในช่วงเช้าอย่างไร ?

.....

.....

.....

.....

.....

3. ท่านคิดว่าได้รับประโยชน์จากการสัมมนากลุ่มย่อยในช่วงบ่ายอย่างไร ?

.....

.....

.....

.....

.....

4. ท่านคิดว่าการมีหน่วยงานวิจัยและทดสอบเครื่องเติมอากาศจะช่วยธุรกิจท่านอย่างไร ?

.....

.....

.....

.....

.....

tial approximations to minimize the residual sum of squares and reports the final parameter estimates.

For adequate convergence, the initial parameter estimate for C_0 should be within two mg/L of the final estimate. Frequently, data are taken with time zero defined early in the test sequence, and this can correctly result in large negative predicted values of C_0 . In these cases, the initial parameter estimate for C_0 may be facilitated by redefining time zero so that C_0 is approximately zero. This redefinition of time zero does not affect the model predictions for $K_L a$ and C_{∞}^* .

The values of DO predicted by the model based on the final parameter estimates should be plotted along with the measured values and examined. A visual examination of such a plot will indicate any gross mistakes or false convergence in the nonlinear regression. False convergence occasionally occurs and can be easily remedied, improving the initial parameter estimates.

8.0 INTERPRETATION AND REPORTING OF RESULTS

8.1 Standard Oxygen Transfer Rate (SOTR)

By convention, the oxygen transfer capacity of an oxygenation system is usually expressed as the rate of oxygen transfer predicted by the model at zero dissolved oxygen under standard conditions of temperature and pressure, usually 1.00 atm (101kPa) and 20°C. This is termed the standard oxygen transfer rate (SOTR). It should be noted that SOTR is a hypothetical value based on zero dissolved oxygen in the oxygenation zone, which is not usually desirable in real oxygenation systems operating in process water. The SOTR value shall be determined by correcting the values of $K_L a$ and C_{∞}^* estimated according to Section 7.2 for each determination point to standard conditions by:

$$K_L a_{20} = K_L a \theta^{(20-T)} \quad (2)$$

$$C_{\infty 20}^* = C_{\infty}^* \left(\frac{1}{\tau \Omega} \right) \quad (3)$$

where:

$K_L a$ = determination point value of apparent mass transfer coefficient estimated according to Section 7.2;

$K_L a_{20}$ = determination point value of $K_L a$ corrected to 20°C;

θ = empirical temperature correction factor, defined by Equation 2 (shall be taken equal to 1.024 unless proven to have a different value for the aeration system and tank tested);

C_{∞}^* = determination point value of steady-state DO saturation concentration estimated according to Section 7.2;

$C_{\infty 20}^*$ = determination point value of steady-state DO saturation concentration corrected to 20°C and a standard barometric pressure of 1.00 atm (101kPa);

τ = temperature correction factor,

$$= C_{\infty}^* / C_{\infty 20}^*;$$

C_{∞}^* = tabular value of dissolved oxygen surface saturation concentration, mL^{-3} , at the test temperature, a standard total pressure of 1.00 atm and 100% relative humidity (7);

$C_{\infty 20}^*$ = tabular value of dissolved oxygen surface saturation concentration, mL^{-3} , at 20°C, a standard total pressure of 1.00 atm and 100% relative humidity (7);

Ω = pressure correction factor,
 $= P_t / P_s$ for tanks under 20 ft (6.1 m) (for deeper tanks or elevation changes greater than 2,000 ft [610 m], the more rigorous procedure given in Annex F shall be used);

P_t = barometric pressure at test site during test, ft^{-2} ;

P_s = standard barometric pressure of 1.00 atm (101kPa), ft^{-2} ; and

T = water temperature during test, °C.

The average value of SOTR shall be calculated by averaging the values at each of the n determination points by

6. Symbols (see note Page 4)

A_A	m^2	Area of the collector hood for off-gas measurements
C	mg/L	Concentration of dissolved oxygen(DO) in the water
C_t	mg/L	Concentration of DO in the water at time t at absorption and desorption measurements
C_0	mg/L	Concentration of DO in the water at time t = 0 at absorption and desorption measurements
C_s	mg/L	DO saturation concentration from the evaluation of a clean water test
C^*	mg/L	Calculated apparent DO saturation concentration from the evaluation of an absorption or desorption test with mixed liquor
$C_{s,T}$	mg/L	Measured DO saturation concentration or calculated DO saturation concentration at T°C at clean water tests
$C_{ss,T}$	mg/L	Standard DO saturation concentration (water vapour saturated air, p = 1013 hPa) at T° C
h_E	m	Diffuser depth (height of water above apertures of diffusers with aeration switched off)
h_W	m	Depth of water in the tank (still water level)
k_{LaT}	h^{-1}	Oxygen transfer coefficient in clean water at T°C
αk_{LaT}	h^{-1}	Oxygen transfer coefficient in mixed liquor at T°C
MV_1	-	Molar ratio, mol O ₂ /mol N ₂ , for dry, CO ₂ -free reference air, $MV_1 = 0.266$
MV_o	-	Molar ratio, mol O ₂ /mol N ₂ , for dry, CO ₂ -free off-gas
MW_1	-	Calibration of an instrument for the measurement of the volumetric fraction of oxygen in the reference air, e.g. $MW_1 = 100$
MW_o	-	Measured volumetric fraction of oxygen in the off-gas
OC	kg/h	Oxygen transfer capacity in clean water under standard conditions (T = 20° C, p ₀ = 1013 hPa, C = 0)
αOC	kg/h	Oxygen transfer capacity in mixed liquor under standard conditions (T = 20° C, p ₀ = 1013 hPa, C = 0)
$(\alpha)OC_R$	g/(m ³ ·h)	Volumetric oxygen transfer rate under standard conditions. $OC_R = OC/N$, $\alpha OC_R = \alpha OC/N$
$\alpha OC_{R,H}$	g/(m ³ ·h)	Volumetric oxygen transfer rate under the projection surface of the off-gas collection hood
OA_h	%/m	Oxygen transfer efficiency in clean water under standard conditions (T = 20° C, p ₀ = 1013 hPa, C = 0) referred to the diffuser depth h_E
αOA^*	%	Oxygen transfer efficiency in mixed liquor calculated from an off-gas measurement
$OC_{L,H}$	g/(m ³ _N ·m)	Oxygen transfer efficiency in clean water under standard conditions (T = 20° C, p ₀ = 1013 hPa, C = 0). OC referred to the air flow Q_L and the diffuser depth h_E

$\alpha OC_{L,H}$	$g/(m^3_N \cdot m)$	Oxygen transfer efficiency in mixed liquor under standard conditions ($T = 20^\circ C$, $p_o = 1013 \text{ hPa}$, $C = 0$). αOC referred to the air flow Q_L and the diffuser depth h_E
OP	kg/kWh	Aeration efficiency in clean water under standard conditions ($T = 20^\circ C$, $p_o = 1013 \text{ hPa}$, $C = 0$). OC referred to the power consumption P
αOP	kg/kWh	Aeration efficiency in mixed liquor under standard conditions ($T = 20^\circ C$, $p_o = 1013 \text{ hPa}$, $C = 0$). αOC referred to the power consumption P
OV_R^*	$g/(m^3 \cdot h)$	Volumetric oxygen uptake rate of the mixed liquor, calculated from off-gas measurements
P	kW	Power input of an aeration installation
p	hPa	Atmospheric pressure, $p_o = 1013 \text{ hPa}$
Q_L	m^3_N/h	Air flow rate referred to standard conditions ($T = 20^\circ C$, $p_o = 1013 \text{ hPa}$, dry)
$Q_{L,i}$	m^3_N/h	Air flow rate to the volume under the projection area of the hood, determined by off-gas measurements, corrected for standard conditions
$Q_{L,o}$	m^3_N/h	Flow rate of off-gas, corrected for standard conditions
$q_{L,o}$	$m^3_N/(m^3 \cdot h)$	Volumetric flow rate of off-gas ($q_{L,o} = Q_{L,o}/(A_A \cdot h_w)$), corrected for standard conditions
$q_{L,R}$	$m^3_N/(m^3 \cdot h)$	Volumetric air flow rate to the aeration tank, corrected for standard conditions
$q_{L,H}$	$m^3_N/(m^3 \cdot h)$	Volumetric air flow rate, $Q_{L,i}$ referred to the volume under the projection area of the hood
q	$m^3/(m^3 \cdot h)$	Volumetric water flow rate. Sum of all water and sludge flows referred to the tank volume
T	$^\circ C$	Water temperature
T_L	$^\circ C$	Air temperature
$t_{90\%}$	min	Time for the decrease of the saturation deficit ($C_s - C$) by 90 %. $t_{90\%} = 60 \cdot 2.303/k_{La}$; k_{La} in h^{-1}
TDS	mg/L	Content of dissolved solids, vaporisation residue of the filtrate
X_i	-	Volumetric fraction of oxygen in dry, CO_2 -free injected air
X_o	-	Volumetric fraction of oxygen in dry, CO_2 -free off-gas
V	m^3	Volume
V_{BB}	m^3	Aeration tank volume
α	-	Interfacial factor
β	-	Salinity factor
ρ_{O_2}	kg/m^3_N	Density of oxygen (1.43 kg/m^3_N at $0^\circ C$ and 1013 hPa). The density of oxygen in dry air correspondingly is 0.299 kg/m^3_N

3.6 standard oxygen saturation value ($C_{s,20}$, mg/l):
as listed in EN 25814 for $p_a = 1\,013$ hPa, eg: $C_{s,20} = 9,09$ mg/l

3.7 test oxygen saturation value ($C_{s,p,T}$, mg/l):
oxygen saturation value of an oxygen transfer test in clean water at a specific water temperature (T , °C) and a specific barometric pressure (p , hPa). The test oxygen saturation value is converted to standard conditions as follows:

$$C_{s,20} = C_{s,p,T} \cdot (C_{s,20} / C_{s,p,T}) \cdot (p_a / p) \quad (4)$$

3.8 mid-depth oxygen saturation value ($C_{s,md,20}$, mg/l):
for diffused air aeration the mid-depth oxygen saturation value for standard conditions is calculated as follows (10,35 m of water is equivalent to 1013 hPa):

$$C_{s,md,20} = C_{s,20} \cdot [1 + (h_b / (2 / 10,35))] \quad (5)$$

3.9 diffuser submergence (h_b , m):
depth of air release below the water level without aeration operating

3.10 normal air flow rate (Q_A , Nm³/h):
air flow rate delivered to the aeration tank, corrected for standard conditions (dry air, zero humidity, $p = 1013$ hPa, $T = 0^\circ\text{C}$)

3.11 aeration setting :
for diffused air aeration: a specified air flow rate at a specified diffuser depth with or without additional mixing; for surface aerators: a specified freeboard or a specified immersion depth at a specified rotary speed and with or without baffles and/or additional mixing.

4 Symbols and abbreviations

h_b	diffuser submergence, in meter (m)
C_0	oxygen concentration at $t = 0$, in milligramme per liter (mg/l)
C_i	initial concentration of dissolved oxygen in the tank without sodium sulphite, in milligramme per liter (mg/l)
$C_{s,20}$	test oxygen saturation value at standard conditions, in milligramme per liter (mg/l)
$C_{s,md,20}$	mid-depth oxygen saturation value, in milligramme per liter (mg/l)
$C_{s,p,T}$	test oxygen saturation value, in milligramme per liter (mg/l)
$C_{s,p,T,\infty}$	oxygen saturation value after a prolonged aeration period determined by Winkler titration (see EN 25813), in milligramme per liter (mg/l)
$C_{s,st,T}$	standard oxygen saturation value, in milligramme per liter (mg/l)
$C_{s,st,T,\infty}$	standard oxygen saturation value at the temperature at which the saturation value has been determined by Winkler titration, in milligramme per liter (mg/l)
C_t	oxygen concentration at time t , in milligramme per liter (mg/l)

รายงานผลการประชุมกลุ่มย่อย

สัมมนาเชิงปฏิบัติการ

เรื่อง

ข้อกำหนดในการทดสอบเครื่องเติมอากาศ ครั้งที่ 1

วันศุกร์ที่ 10 พฤษภาคม 2545

ณ ห้องลานชมพู ชั้น 4 ตึก 81 คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

จัดโดย

ศูนย์วิจัยและทดสอบการเติมอากาศ สจพ.

ร่วมกับ

สถาบันพัฒนาเทคโนโลยีการควบคุมมลพิษ กรมควบคุมมลพิษ

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

ตำแหน่งของการเก็บน้ำตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำ					
การเตรียมระบบก่อนทำการทดสอบ	- ก่อนทำการทดสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพของการถ่ายเทออกซิเจน ระบบเครื่องเติมอากาศควรจะถูกเปิดให้ทำงานจนเข้าสู่สภาวะ steady – state hydraulic regime เช่น ระบบ diffused air จะใช้เวลาประมาณ 30-40 min	- การทดสอบสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ Test with continuous operation ซึ่งการเติมโซเดียมคลอไรด์จะกระทำเมื่อระบบเครื่องเติมอากาศดำเนินงานอยู่ และ Test from stands still ซึ่งการเติมโซเดียมคลอไรด์ในกรณีนี้จะต้องมีการเปิดระบบการกวนผสมเชิงกลก่อนเป็นเวลา 15-30 min จึงทำการเปิดระบบเครื่องเติมอากาศ - ก่อนทำการทดสอบ ระบบเครื่องเติมอากาศ ควรถูกเปิดให้ทำงานก่อนเป็นเวลาอย่างต่ำหนึ่งวัน - สำหรับการทดสอบระบบ surface aerators ให้ทำการเปิดเครื่องเติมอากาศก่อนครึ่งชั่วโมงเป็นอย่างต่ำ	- ระบบเครื่องเติมอากาศและ mixers ควรถูกเปิดให้ทำงานก่อนเริ่มทำการทดสอบเป็นเวลาอย่างต่ำ 12 hr	ควรปฏิบัติตามมาตรฐาน ASCE - ก่อนทำการทดสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพของการถ่ายเทออกซิเจน ระบบเครื่องเติมอากาศควรจะถูกเปิดให้ทำงานจนเข้าสู่สภาวะ steady – state hydraulic regime เช่น ระบบ diffused air จะใช้เวลาประมาณ 30-40 min	

คุณภาพน้ำ	- คุณภาพของน้ำทดสอบควรเทียบได้เท่ากับคุณภาพมาตรฐานของน้ำประปา - ควรมีการตรวจสอบคุณภาพน้ำก่อนและหลังการทดสอบ ได้แก่ อุณหภูมิควรอยู่ระหว่าง 10 – 30°C, ค่า TDS ไม่ควรเกิน 2,000 mg/L และ soluble cobalt ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 0.1–0.5 mg/L - อาจตรวจวัดเพื่อหาปริมาณของเหล็ก, แมงกานีส, คลอรีน, ค่าความเป็นด่าง, pH, total organic carbon และ surfactants (MBAS) ตามข้อตกลงเพิ่มเติมของการทดสอบ	- คุณภาพของน้ำทดสอบควรเทียบได้เท่ากับคุณภาพมาตรฐานของน้ำดื่มและไม่มีค่า TDS เริ่มต้นเกิน 500 mg/L - น้ำทดสอบไม่ควรมีการปนเปื้อนของ organic compounds - ถ้าน้ำทดสอบไม่ได้มาตรฐานของน้ำดื่ม ควรจะได้มีการวิเคราะห์เพิ่มเติมเพื่อหาปริมาณเหล็ก, แมงกานีส, ค่าความเป็นด่าง, pH, total organic carbon, COD และ surfactants - การทดสอบซ้ำโดยใช้น้ำทดสอบเดิมควรตรวจวัดค่า TDS ไม่ให้เกิน 2000 mg/L - ในการทดสอบแต่ละครั้งจะต้องมีการวัดค่า electrical conductivity ของน้ำทดสอบที่เวลาหลังเริ่มทดสอบและที่เวลาสิ้นสุดของการทดสอบ	ควรปฏิบัติตามมาตรฐาน ASCE - คุณภาพของน้ำทดสอบควรเทียบได้เท่ากับคุณภาพมาตรฐานของน้ำประปา - ควรมีการตรวจสอบคุณภาพน้ำก่อนและหลังการทดสอบ ได้แก่ อุณหภูมิควรอยู่ระหว่าง 10 – 30°C, ค่า TDS ไม่ควรเกิน 2,000 mg/L และ soluble cobalt ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 0.1–0.5 mg/L - อาจตรวจวัดเพื่อหาปริมาณของเหล็ก, แมงกานีส, คลอรีน, ค่าความเป็นด่าง, pH, total organic carbon และ surfactants (MBAS) ตามข้อตกลงเพิ่มเติมของการทดสอบ
ตำแหน่งของการเก็บน้ำตัวอย่างเพื่อวัดค่า DO			

		ที่ 1.5 _{90%} หรือ 210/k _a (minutes)		ความคิดเห็นเพิ่มเติมของทางกลุ่ม
		- ค่า k_a ที่คำนวณได้แต่ละค่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยแล้วไม่ควรแตกต่างกันเกิน $\pm 5\%$ ถ้าพบว่ามีความแตกต่างเกิน $\pm 5\%$ ควรทำการคิดค่าเฉลี่ยของค่า k_a ใหม่ โดยตัดทิ้งค่าที่แตกต่างเกินดังกล่าว		- อาจจะมีการเพิ่มจุดตรวจวัดพิเศษตามที่เจ้าของเครื่องต้องการ - อาจจะมีการเพิ่มจุดตรวจวัดพิเศษตามลักษณะพิเศษของเครื่องเดิมอากาศ
ปริมาณน้ำทดสอบ	- ในการทดสอบระบบ fixed platform surface aerators and rotors ระดับน้ำจะต้องถูกควบคุมให้คงที่ - ในการทดสอบระบบอื่นๆ นอกเหนือจาก fixed platform surface aerators ปริมาณของน้ำควรถูกควบคุมไม่ให้เปลี่ยนแปลงมากกว่า $\pm 2\%$ ในการทดสอบแต่ละครั้ง	- ปริมาตรของถังทดสอบจะต้องถูกวัดและต้องมีการทำเครื่องหมายกำหนดระดับน้ำเพื่อให้สามารถวัดค่า immersion depth ของระบบเครื่องเดิม อากาศแบบ surface aerators - ในการทดสอบระบบ surface aerators ระดับน้ำไม่ควรลดลงไปกว่า 2 cm ในระหว่างการทดสอบ	- ปริมาตรของน้ำในถังทดสอบจะต้องถูกวัดก่อนการทดสอบทุกครั้ง - ระดับน้ำก่อนและหลังการทดสอบควรได้รับการทำเครื่องหมายไว้ที่บริเวณผนังถึง - ในการทดสอบระบบ surface aerators ระดับน้ำไม่ควรลดลงไปกว่า 1 cm ในระหว่างการทดสอบ	ควรปฏิบัติตามมาตรฐาน prEN - ปริมาตรของน้ำในถังทดสอบจะต้องถูกวัดก่อนการทดสอบทุกครั้ง - ระดับน้ำก่อนและหลังการทดสอบควรได้รับการทำเครื่องหมายไว้ที่บริเวณผนังถึง - ในการทดสอบระบบ surface aerators ระดับน้ำไม่ควรลดลงไปกว่า 1 cm ในระหว่างการทดสอบ

การวัดค่า DO	จุดวัดค่า DO ควรมีอย่างต่ำ 4 จุด ณ บริเวณ shallow depth, deep location และ middepth และควรอยู่ห่างจากผนัง, พื้นถัง และ ผิวน้ำไม่น้อยกว่า 2 ft (0.6 m) และไม่ควรรอยู่ใกล้ผิวน้ำเกินกว่า 10% ของมิติที่สั้นที่สุดของถัง	จุดวัดค่า DO โดยให้ DO probes ให้ติดตั้งเป็นจำนวนอย่างต่ำ 3 probes โดยถึงขนาดใหญ่นำให้ติดตั้งเป็นจำนวน 6 probes	การวัดค่า DO โดยใช้ DO probes ให้ติดตั้งเป็นจำนวนอย่างต่ำ 3 probes โดยถึงขนาดใหญ่นำให้ติดตั้งเป็นจำนวน 6 probes	จุดวัดค่า DO ควรมีอย่างต่ำ 3 จุด ในถังทดสอบขนาดปกติ และอยู่ห่างไม่น้อยกว่า 50 cm จากผนัง, ผิวน้ำ และพื้นถัง	ควรปฏิบัติตามมาตรฐาน ASCE
	ถังทดสอบขนาดใหญ่ เช่น ใหญ่กว่า 500,000 gal (1,900 m ³) หรือระบบที่ค่า K _L a มีแนวโน้มในการกระจายตัวสูง ควรเพิ่มจำนวนจุดวัดค่า DO	ตำแหน่งของการติดตั้ง probes ได้แก่ 0.5 m จากพื้นถัง, เครื่องหนึ่งของความลึกของน้ำ และ 0.5 m จากผิวน้ำ โดยมีระยะห่างอย่างน้อย 1 m จากผนังถัง การติดตั้งอาจเป็นรูปแบบ mounted on a bar หรือ fixed to a weighted rope	ตำแหน่งของการติดตั้ง probes ได้แก่ 0.5 m จากพื้นถัง, เครื่องหนึ่งของความลึกของน้ำ และ 0.5 m จากผิวน้ำ โดยมีระยะห่างอย่างน้อย 1 m จากผนังถัง การติดตั้งอาจเป็นรูปแบบ mounted on a bar หรือ fixed to a weighted rope	ในถังทดสอบขนาดใหญ่ (V> 3000 m ³) และถังที่มีระบบ tapered aeration ควรมีจุดวัดค่า DO อย่างต่ำ 6 จุด	ถึง
	ความถี่ในการวัดค่า DO กรณีใช้เครื่องบันทึกแบบต่อเนื่องควรมีจำนวนอย่างต่ำ 21 discrete data ในกรณีใช้การวัดจากน้ำตัวอย่างในขวด BOD ควรทำอย่างต่ำ 12 ครั้ง	สัญญาณจาก DO probes จะต้องถูกบันทึกโดย printers, data loggers หรือ PCs	ระยะเวลาขั้นต่ำในการบันทึกค่า DO ในช่วง rising DO curves คือ 2t _{90%} หรือ 280/K _L a (in minutes) และควรมีช่วงความถี่ในการบันทึกค่า DO คือ Δt = 5/K _L a (minutes) ทั้งนี้จำนวนรวมของค่า DO ในแต่ละครั้งทดสอบเพื่อหาค่า K _L a จะต้องมียอดอย่างน้อย 30 ค่า โดยค่า C _{0.13} ควรมีค่ามากกว่า 0.25C _{s,T} และค่า DO ควรครอบคลุมเวลา	จำนวนของค่า DO ที่จะต้องถูกวัดเทียบกับเวลาควรมีอย่างต่ำ 30 ค่า ที่ช่วงเวลาห่างเท่ากันต่อการคำนวณหาค่า K _L a นั้นครั้งและควรครอบคลุมระยะเวลาทั้งหมดเท่ากับ 210/K _L a min	ถึงทดสอบขนาดใหญ่ เช่น ใหญ่กว่า 500,000 gal (1,900 m ³) หรือระบบที่ค่า K _L a มีแนวโน้มในการกระจายตัวสูง ควรเพิ่มจำนวนจุดวัดค่า DO
	การกระจายตัวของค่า DO ควรมีสัดส่วนประมาณ 2/3 (58% - 75%) ในบริเวณ rising curve (20 - 86% of saturation) ส่วน 1/3 (25% - 42%) ควรเป็นข้อมูลที่อยู่บริเวณ stationary curve (86 - 98% of saturation)			ไม่เกินกว่า 6/K _L a min และการวัดจะสิ้นสุดลงเมื่อค่า DO มีค่าประมาณเข้าสู่ค่าคงที่หรือประมาณ 0.8C _{s,p,T} ⁹	การกระจายตัวของค่า DO ควรมีสัดส่วนประมาณ 2/3 (58% - 75%) ในบริเวณ rising curve (20 - 86% of saturation) ส่วน 1/3 (25% - 42%) ควรเป็นข้อมูลที่อยู่บริเวณ stationary curve (86 - 98% of saturation)

อัตราการใช้ของอากาศ	- อัตราการใช้ของอากาศไม่ควรจะเปลี่ยนแปลงมากกว่า $\pm 5\%$ ในการทดสอบครั้งเดียวกัน - การวัดอัตราการใช้ของอากาศที่สภาวะทดสอบต้องทำการบันทึกข้อมูลของอากาศขณะทำการทดสอบ ได้แก่ อุณหภูมิ, ความดัน และความเร็วขึ้นอากาศเพื่อนำไปปรับค่าอัตราการไหลอากาศที่สภาวะมาตรฐาน³	- กำหนดให้มีการวัดค่าอัตราการไหลของอากาศ ให้ทำการวัด ณ เวลาเดียวกันกับการวัดค่า power input ได้แก่ เวลาเริ่มต้น และเวลาสิ้นสุดของการทดสอบ แล้วนำไปหาค่าเฉลี่ย	- การวัดอัตราการใช้ของอากาศที่สภาวะทดสอบต้องทำการบันทึกข้อมูลของอากาศขณะทำการทดสอบ ได้แก่ อุณหภูมิ, ความดัน และความเร็วขึ้นอากาศเพื่อนำไปปรับค่าอัตราการไหลอากาศที่สภาวะมาตรฐาน³	ควรปฏิบัติตามมาตรฐาน ASCE - อัตราการใช้ของอากาศไม่ควรจะเปลี่ยนแปลงมากกว่า $\pm 5\%$ ในการทดสอบครั้งเดียวกัน - การวัดอัตราการใช้ของอากาศที่สภาวะทดสอบต้องทำการบันทึกข้อมูลของอากาศขณะทำการทดสอบ ได้แก่ อุณหภูมิ, ความดัน และความเร็วขึ้นอากาศเพื่อนำไปปรับค่าอัตราการไหลอากาศที่สภาวะมาตรฐาน³
---------------------	---	---	---	--

อุณหภูมิบรรยากาศ	- อุณหภูมิบรรยากาศจะต้องถูกตรวจสอบเพื่อนำไปคำนวณค่าอัตราการไหลของอากาศที่สภาวะมาตรฐาน³	- อุณหภูมิบรรยากาศจะต้องถูกตรวจสอบทั้งที่เวลาเริ่มต้นและเวลาสิ้นสุดของแต่ละครั้งทดสอบ	- อุณหภูมิบรรยากาศจะต้องถูกตรวจสอบเพื่อนำไปคำนวณค่าอัตราการไหลของอากาศที่สภาวะมาตรฐาน³	- อุณหภูมิบรรยากาศจะต้องถูกตรวจสอบเพื่อนำไปคำนวณค่าอัตราการไหลของอากาศที่สภาวะมาตรฐาน³	สภาวะทั้ง 3 มาตรฐานเหมือนกัน ดังนั้นสามารถกำหนดตามมาตรฐานใดมาตรฐานหนึ่ง
ความดันบรรยากาศ	- ความดันบรรยากาศจะต้องถูกตรวจสอบเพื่อนำไปคำนวณค่า pressure correction factor Ω^2 - ความดันบรรยากาศจะต้องถูกตรวจสอบเพื่อนำไปคำนวณค่าอัตราการไหลของอากาศที่สภาวะมาตรฐาน³	- ความดันบรรยากาศจะต้องถูกตรวจสอบทั้งที่เวลาเริ่มต้นและเวลาสิ้นสุดของแต่ละครั้งทดสอบ	- ความดันบรรยากาศจะต้องถูกตรวจสอบเพื่อนำไปคำนวณค่าอัตราการไหลของอากาศที่สภาวะมาตรฐาน³	- ความดันบรรยากาศจะต้องถูกตรวจสอบเพื่อนำไปคำนวณค่าอัตราการไหลของอากาศที่สภาวะมาตรฐาน³	ควรปฏิบัติตามมาตรฐาน ASCE - ความดันบรรยากาศจะต้องถูกตรวจสอบเพื่อนำไปคำนวณค่าอัตราการไหลของอากาศที่สภาวะมาตรฐาน³
ความชื้นอากาศ	- ความชื้นอากาศจะต้องถูกตรวจสอบเพื่อนำไปคำนวณค่าอัตราการไหลของอากาศที่สภาวะมาตรฐาน³			- ความชื้นอากาศจะต้องถูกตรวจสอบเพื่อนำไปคำนวณค่าอัตราการไหลของอากาศที่สภาวะมาตรฐาน³	ควรปฏิบัติตามมาตรฐาน ASCE - ความชื้นอากาศจะต้องถูกตรวจสอบเพื่อนำไปคำนวณค่าอัตราการไหลของอากาศที่สภาวะมาตรฐาน³

เงื่อนไขการเติมอากาศ			- สำหรับระบบ diffused air aeration จะต้องมีกำหนดค่าอัตราการไหลอากาศที่ใช้ ณ ค่าของ diffuser depth ค่าหนึ่ง ในสภาวะที่มีหรือไม่มีติดตั้งระบบ mixing - สำหรับระบบ surface aerators จะต้องมีกำหนดค่า freeboard หรือ ค่า immersion depth ณ ค่าของ rotary speed ค่าหนึ่ง ในสภาวะที่มีหรือไม่มีติดตั้ง baffles และ/หรือระบบ mixing	ควรปฏิบัติตามมาตรฐาน prEN
อุณหภูมิน้ำ	- อุณหภูมิของน้ำทดสอบควรอยู่ระหว่าง 10°C – 30°C - ค่า standard temperature correction factor, θ^1 ควรมีค่าเท่ากับ 1.024 - การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในการทดสอบครั้งเดียวกันไม่ควรเกิน 2°C	- อุณหภูมิของน้ำทดสอบไม่ควรต่ำกว่า 4°C - ต้องมีการวัดอุณหภูมิของน้ำทดสอบที่เวลาเริ่มต้นและเวลาสิ้นสุดของแต่ละครั้งทดสอบ - ถ้าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในการทดสอบครั้งเดียวกันเกิน 2°C ควรทำการทดสอบใหม่	- ต้องมีการวัดอุณหภูมิของน้ำทดสอบที่เวลาเริ่มต้นและเวลาสิ้นสุดของแต่ละครั้งทดสอบ แล้วใช้ค่าเฉลี่ยในการคำนวณค่า $K_L a_{20}$	ควรปฏิบัติตามมาตรฐาน ASCE - อุณหภูมิของน้ำทดสอบควรอยู่ระหว่าง 10°C – 30°C - ค่า standard temperature correction factor, θ^1 ควรมีค่าเท่ากับ 1.024 - การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในการทดสอบครั้งเดียวกันไม่ควรเกิน 2°C

กลุ่มที่ 1

สภาวะในการทดสอบเครื่องเติมอากาศ

สภาวะในการทดสอบ	มาตรฐาน ASCE	มาตรฐาน ATV	มาตรฐาน prEN	ความคิดเห็นของทางกลุ่ม
สภาวะมาตรฐาน	สภาวะมาตรฐานของการถ่ายงานค่า Standard oxygen transfer rate, SOTR คือ อุณหภูมิ 20 °C ความดันบรรยากาศ 1.00 atm ที่ ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายเป็นศูนย์	สภาวะมาตรฐานของการถ่ายงานค่า Oxygen transfer capacity in clean water, OC คือ อุณหภูมิ 20 °C ความดันบรรยากาศ 1013 hPa ที่ ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายเป็นศูนย์	สภาวะมาตรฐานของการถ่ายงานค่า Standard oxygen transfer rate, SOTR คือ อุณหภูมิ 20 °C ความดันบรรยากาศ 1013 hPa ที่ ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายเป็นศูนย์	สภาวะทั้ง 3 มาตรฐานเหมือนกัน ดังนั้นสามารถกำหนดตามมาตรฐานใดมาตรฐานหนึ่ง
การจัดวางเครื่องเติมอากาศ	ไม่มีลักษณะที่แน่นอน มักจะถูกออกแบบให้สามารถจำลองการใช้งานจริงให้ได้มากที่สุด	มีรูปแบบการจัดวางขึ้นอยู่กับลักษณะของถังทดสอบ ได้แก่ รูปแบบ in strings สำหรับ circular tanks, รูปแบบ in fields สำหรับ closed loop tanks และ รูปแบบ three cone surface aerators, รูปแบบ even diffuser density และรูปแบบ staged diffusers สำหรับ rectangular tanks¹⁰		ควรปฏิบัติตามมาตรฐาน ATV มีรูปแบบการจัดวางขึ้นอยู่กับลักษณะของถังทดสอบ ได้แก่ รูปแบบ in strings สำหรับ circular tanks, รูปแบบ in fields สำหรับ closed loop tanks และ รูปแบบ three cone surface aerators, รูปแบบ even diffuser density และรูปแบบ staged diffusers สำหรับ rectangular tanks¹⁰

จำนวนครั้งของการ ทดสอบซ้ำ		- ที่สภาวะเงื่อนไขของการทดสอบ เดียวกัน (same aeration settling) จะต้องดำเนินการ ทดสอบเป็นจำนวนอย่างต่ำ 2 ครั้ง		ควรปฏิบัติตามมาตรฐาน ATV
------------------------------	--	--	--	--------------------------

รายการ Superscripts

1. ค่า θ ใช้ในการปรับแก้ค่า $K_L a$ ที่อุณหภูมิทดสอบไปเป็นค่า $K_L a$ ที่สภาวะมาตรฐาน 20°C

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

2. ค่า Ω ใช้ในการปรับแก้ค่า C_{∞} ที่สภาวะทดสอบไปเป็นค่า C_{∞} ที่สภาวะมาตรฐาน 20°C

และ 1.00 atm (101 kPa)

$$C_{\infty 20} = C_{\infty} \left[\frac{1}{\tau \Omega} \right]$$

โดย

$$\Omega = \frac{P_b}{P_s} \quad \text{และ} \quad \tau = \frac{C_{st}^*}{C_{s20}^*}$$

3. อากาศที่สภาวะมาตรฐาน คือ 20°C, 1.00 atm (101 kPa) และ 36% relative humidity

4. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 17th Edition, APHA, WPCF, AWWA (1989)

5. Wire Horsepower = 2.319×10^{-3} EIF โดย E (volts), I (amperes) และ F (power factor)

6. อากาศที่สภาวะมาตรฐาน คือ 0°C, 1013 hPa และ zero humidity

7. ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ที่ต้องการต่อการทดสอบหนึ่งครั้ง, M_{so}

$$M_{so} = 8 \cdot [(V \cdot C_i / 1000) + (t_M \cdot OC_{20} / 60)]$$

8. In-situ calibration of the DO probes ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่

- การทำ pre-calibration ในอากาศเปียก
- การตรวจสอบค่า zero DO ในสารละลายโซเดียมซัลไฟด์
- การติดตั้ง DO probes ในถังทดสอบ เพื่อทำ calibration กับค่า oxygen saturation value ที่ได้จากการทำ Winkler titration

9. $C_{s,p,T}$ คือ ค่าออกซิเจนละลายในตัวในการทดสอบ, mg/l

10. รูปแบบการจัดวางเครื่องเติมอากาศในถังทดสอบลักษณะต่างๆ

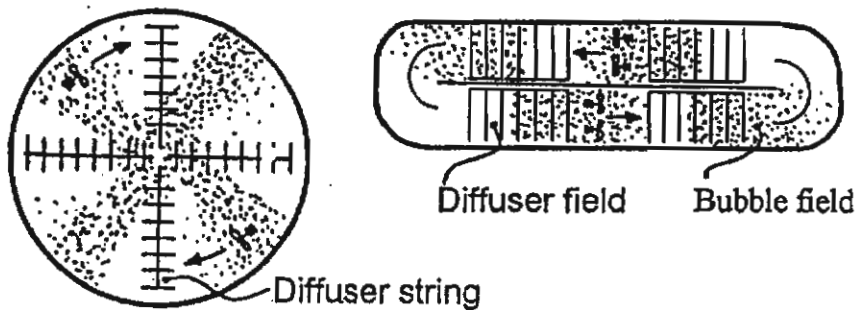


Fig. 5: Tanks with diffusers arranged in strings and in fields

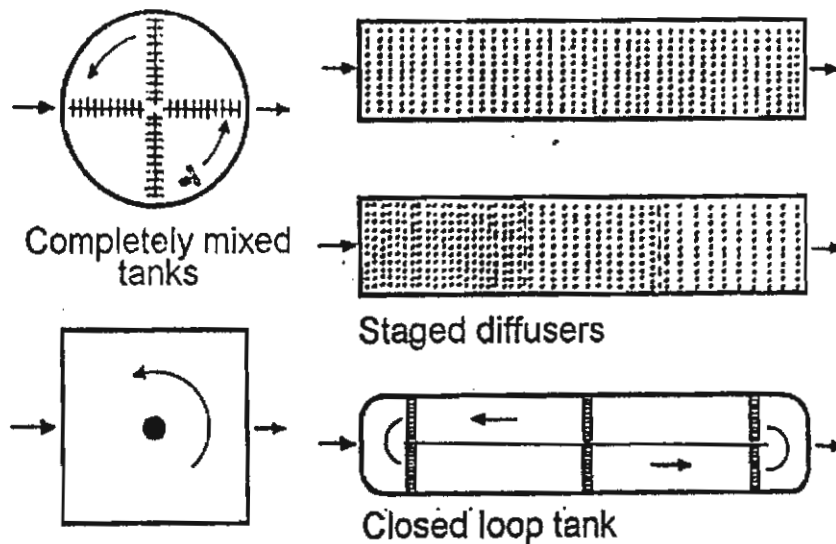


Fig. 6: Typical tank shapes with different aeration arrangements

11. การประมาณ time response ของ DO probe

$$t_{90\%} - \text{probe}[\text{seconds}] \leq 415/k_L a$$

เช่น ถ้า $K_L a$ ของ aeration facility มีค่าเท่ากับ 5 h^{-1} จะพบว่าค่า necessary reaction time $t_{90\%} \leq 83 \text{ seconds}$

12. ตัวอย่างการคำนวณปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2SO_3)

- ปริมาตรถังทดสอบ 1000 m^3
- ค่า DO concentration 11 mg/L
- ค่า oxygen transfer capacity 120 kg/h
- ค่า lag time 15 min

ปริมาณ Na_2SO_3 สำหรับ DO bonding $1000 \times 0.011 \times 8 = 88 \text{ kg}$

ปริมาณ Na_2SO_3 สำหรับ lag time $120 \times (15/60) \times 8 = 240 \text{ kg}$

ปริมาณ Na_2SO_3 รวม $= 328 \text{ kg}$

13. $C_{s,T}$ คือ ค่าออกซิเจนละลายอิ่มตัวในการทดสอบ, mg/L

กลุ่มที่ 2

อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดสอบ

สภาวะในการทดสอบ	มาตรฐาน ASCE	มาตรฐาน ATV	มาตรฐาน EN	ข้อคิดเห็น
ถึงทดสอบ	- มีขนาดตั้งแต่ 2 – 3 L ไปถึงมากกว่าหนึ่งล้านแกลลอน - การออกแบบถึง ควรให้มีปัจจัยต่าง ๆ ใกล้เคียงกับการใช้งานจริง เช่น ความหนาแน่นของเครื่องเติมอากาศ อัตราการไหลของอากาศต่อปริมาตร หรือกำลังที่ใช้ในการเดินเครื่องเติมอากาศต่อปริมาตร	- ถึงทดสอบจะต้องมีลักษณะของการเติมอากาศเป็นแบบ completely mixed ซึ่งในทางทฤษฎีสามารถกล่าวได้ว่า ความเข้มข้น ณ จุดใดๆ ภายในถังที่เวลาเดียวกันจะต้องมีค่าคงที่ - ถึงทดสอบที่มีลักษณะแบบ completely mixed ได้แก่ rectangular tanks without separating walls ที่มีการจัดวางเครื่องเติมอากาศรูปแบบ three cone surface aerators และ รูปแบบ even diffuser density และ closed loop tanks	- ถึงทดสอบจะต้องมีลักษณะของการเติมอากาศเป็นแบบ completely mixed ซึ่งในทางทฤษฎีสามารถกล่าวได้ว่า ความเข้มข้น ณ จุดใดๆ ภายในถังที่เวลาเดียวกันจะต้องมีค่าคงที่ - ถึงทดสอบที่มีลักษณะแบบ completely mixed ได้แก่ rectangular tanks without separating walls ที่มีการจัดวางเครื่องเติมอากาศรูปแบบ three cone surface aerators และ รูปแบบ even diffuser density และ closed loop tanks	- ถึงทดสอบจะต้องมีลักษณะของการเติมอากาศเป็นแบบ completely mixed ซึ่งในทางทฤษฎีสามารถกล่าวได้ว่า ความเข้มข้น ณ จุดใดๆ ภายในถังที่เวลาเดียวกันจะต้องมีค่าต่างกันไม่เกิน 5% โดยมีข้อเสนอนี้คือ ถังวงรีเหมาะสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบ jet ถังพื้นที่หน้าตัดวงกลมเหมาะสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบ surface aerator และถังทุกรูปแบบสามารถใช้กับ diffused aerator (จากการพิจารณาของคณะทำงานอีกครั้งพบว่า การระบุเป็น completely mixed ของมาตรฐานนี้ ต้องการบ่งบอกค่าทางทฤษฎีเท่านั้น การกำหนดค่าความแตกต่างจึงยังไม่ควรระบุในขั้นตอนนี้)

ชนิดของเครื่องเติมอากาศ	- Surface Aerators ได้แก่ ประเภท high speed, low speed และ horizontal shaft rotors - Subsurface Oxygenation Devices ได้แก่ ประเภท diffused air, static tubes, submerged turbines และ jet aerators		- Diffused air systems ได้แก่ porous diffusers และ ejectors สามารถทดสอบได้ในทั้งทุกรูปแบบ - Vertical shaft surface aerators ได้แก่ cone aerators สามารถทดสอบในทั้งรูปแบบ square, circular, rectangular และ closed loop - Horizontal axis surface aerators สามารถทดสอบในทั้งรูปแบบ closed loop	- เหมือกับ ASCE
เครื่องมือสูบน้ำด้วย อย่าง	- ใช้ submersible pumps และ ขวด BOD ขนาด 300 mL - น้ำตัวอย่างจะถูกใช้ในการวัดค่า DO, การทำ Winkler calibration ของ DO probes และการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำ - การติดตั้งชุดเครื่องมือควรพิจารณาให้ระยะเวลาในการไหลของน้ำจาก pump ไปยังขวด BOD ณ จุดวัดค่าต่าง ๆ เป็นระยะเวลาเท่ากัน และไม่เกิน 15 sec ส่วนเวลาในการบรรจุ		- นำตัวอย่างจะใช้ในการวัดค่า DO และการทำ Winkler calibration ของ DO probes	- เหมือกับ prEN

เครื่องมือวัดค่า DO	ขนาดควรอยู่ระหว่าง 6 – 10 sec - ใช้วิธีสุ่มเก็บน้ำตัวอย่างและหาค่า DO ด้วยวิธี Winkler titration - ใช้การติดตั้ง DO probes in situ โดยกำหนดให้ค่า probe time constant น้อยกว่า 0.02 / K_La - ควรมีการติดตั้งใบกวนเพื่อกำหนดค่าความเร็วของน้ำค่าหนึ่งทีผ่าน probe เมื่อต่อเข้ากับ chart หรือ digital recorder ควรอ่านค่า DO ได้ถูกต้องในระดับ ± 0.05 mg/L - ก่อนการใช้งานของ DO probes ควรจะได้มีการทำ calibration ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตทุกครั้ง	- ใช้การติดตั้ง DO probes เป็นจำนวนอย่างต่ำ 3 probes โดยถึงขนาดใหญ่นำมาติดตั้งเป็นจำนวน 6 probes - การติดตั้ง DO probes กำหนดให้ค่า probe K_La มีค่าประมาณ 20 เท่าของค่า aeration facility - K_La หรือ เวลาที่ต้องการสำหรับ probe ในการแสดงผลของการเปลี่ยนแปลงค่า DO ได้เท่ากับ 90% ควรมีค่าน้อยกว่า 1/20 ของเวลาการทดสอบเพื่อทำให้ค่า DO ในถังทดสอบเปลี่ยนแปลงไป 90%¹¹ - ควรมีการทดสอบเพื่อให้แน่ใจว่าในบริเวณของการติดตั้ง DO probe มีสภาวะของการไหลของน้ำทดสอบเป็นแบบ turbulence อย่างเพียงพอ	- ใช้วิธีสุ่มเก็บน้ำตัวอย่างและหาค่า DO ด้วยวิธี Winkler titration - ใช้การติดตั้ง DO probes in situ กำหนดให้ค่า probe K_La มีค่ามากกว่า 20 เท่าของค่า aeration tank K_La - จะต้องมีการติดตั้ง DO probe อย่างน้อยหนึ่งตัวต่อเข้ากับ strip chart recorder ที่สามารถตรวจสอบค่า DO ได้ในระหว่างการทดสอบ - การติดตั้ง DO probe ควรทำมุม 45° เพื่อหลีกเลี่ยงการสะสมของฟองอากาศบริเวณเยื่อแผ่น membranes และควรทดสอบให้แน่ใจว่าเกิดการไหลในรูปแบบ turbulence อย่างเพียงพอ - สำหรับการวัดค่า DO สำหรับการรับค่า DO probe ทุกครั้งจะต้องมีการทำ In-situ calibration⁸	- เปรียบเทียบกับ prEN แต่เพิ่มเติมค่าความถูกต้องของการวัด DO ในระดับ ± 0.05 mg/L
เครื่องมือวัดอุณหภูมิของน้ำ	- อ้างตาม Section 2550 of Standard Methods for the Examination of Water and Waste water⁴	- การวัดอุณหภูมิจะทำ ณ เวลาเริ่มต้นและเวลาสิ้นสุดของการทดสอบแต่ละครั้ง โดยใช้ laboratory thermometer ที่ให้	- เครื่องมือที่ใช้ควรให้ความถูกต้องของอุณหภูมิในระดับ ± 0.1 °C - การวัดอุณหภูมิจะทำ ณ เวลา	- เปรียบเทียบกับ ATV

			ความถูกต้อง 0.5 °C	เริ่มต้นและเวลาสิ้นสุดของการทดสอบแต่ละครั้ง	- เหมือนกับ ASCE
เครื่องมือวัดคุณสมบัติอากาศ	- ความดันบรรยากาศและ ความชื้นอากาศที่สภาวะทดสอบ ควรติดตามโดยตรงจาก local weather service data				

Deoxygenation Chemicals	- โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2SO_3) ใช้เกรดระดับ reagent หรือ technical ในปริมาณเกินพอคือ 7.88 mg/L ต่อ 1.0 mg/L DO (เกินพอประมาณร้อยละ 20 – 250%) - การเตรียมสารละลายซัลไฟด์ต้องทำในถังทดสอบ นอก แล้วนำมาเทลงในถังทดสอบ หลังการเติมสารละลายซัลไฟด์ควรตรวจสอบค่า DO ว่ามีค่าอยู่ที่ต่ำกว่า 0.50 mg / L เป็นระยะเวลาประมาณ 2 min - โคบอลท์เคตะดิลด์ ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ หรือ CoSO_4) ใช้เกรดระดับ reagent หรือ technical เมื่อผสมกับน้ำ	- โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2SO_3) ใช้เกรดระดับ commercial ที่อยู่ในรูป water-free ในปริมาณ 8 kg ต่อการกำจัดออกซิเจนละลาย (DO bonding) ปริมาณ 1 kg และการเติมโซเดียมซัลไฟด์ 1 kg จะก่อให้เกิด salt mass 1.13 kg ปริมาณของโซเดียมซัลไฟด์ที่ต้องการใช้ในการทดสอบเป็นผลรวมจากปริมาณที่ต้องการสำหรับ DO bonding และปริมาณที่ต้องการสำหรับ lag time (application, admixture และ flow stabilization)¹² - เกลโคโคบอลท์ ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ใช้เดิมเป็นเคตะดิลด์ ให้มีค่าความ	- โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2SO_3) ใช้เกรดระดับ reagent หรือ technical ที่อยู่ในรูปของสารละลายหรือ powder ในปริมาณ 8 kg ต่อการกำจัดออกซิเจนละลายปริมาณ 1 kg โดยปริมาณของโซเดียมซัลไฟด์ที่ต้องการในการทดสอบหนึ่งครั้งสามารถคำนวณได้คือ M_{So}^7 kg ก่อนเติมโซเดียมซัลไฟด์ ควรจะต้องติดตั้งและเริ่มเก็บข้อมูลจาก DO probes - การเตรียมสารละลายซัลไฟด์ควรทำในถังผสมที่มีการติดตั้ง mixer หรือ submersible pump เพื่อช่วยในการกวนผสม และในกรณีการเติมโซเดียมซัลไฟด์ใน	- ยังหาข้อสรุปไม่ได้
-------------------------	---	--	--	----------------------

	ทดสอบกำหนดให้มีความเข้มข้นของโคบอลต์อยู่ระหว่าง 0.10-0.50 mg/L ซึ่งในการผสมสารละลายเกล็ดของโคบอลต์ควรมีระบบช่วยการกวนผสมสำหรับถึงทดสอบขนาดใหญ่	เข้มข้นในน้ำทดสอบประมาณ 0.5 g/m ³	รูป powder ควรเติม ณ บริเวณของถังทดสอบที่มีสภาวะ high turbulence - โคบอลต์อะซีเตต (CoCl₂·6H₂O หรือ CoSO₄·7H₂O) ใช้กรดระดับ reagent หรือ technical เติมในถังทดสอบให้มีความเข้มข้นประมาณ 0.5 mg/L - การเติมโคบอลต์อะซีเตตควรอยู่ในรูปของสารละลายและควรมีการเปิดระบบ aeration และ mixing ให้ทำงานก่อนเป็นเวลาอย่างน้อย 30 min เพื่อช่วยในการกระจายตัวของสารละลายอย่างทั่วถึง	- ยังหาข้อสรุปไม่ได้
อุปกรณ์ช่วยวิเคราะห์และคำนวณ	- เครื่องคอมพิวเตอร์หรือเครื่องคำนวณที่สามารถเขียนคำสั่งให้ทำงานแบบอัตโนมัติ	- เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีชุดคำสั่ง MS-DOS 3.3 หรือสูงกว่า และมีหน่วยความจำอย่างต่ำ 640 KB	- ในการวัดอัตราการไหลของอากาศสามารถใช้เครื่องมือวัดที่	- ยังหาข้อสรุปไม่ได้
เครื่องมือวัดอัตราการไหลของอากาศ	- ในการวัดเบื้องต้นสามารถใช้ orifice plate meters, venturi tube meters, pilot traversing methods หรือ เครื่องมือวัดอื่นๆ	- เทคนิคที่ใช้ในการวัดอัตราการไหลของอากาศจะต้องทำการตกลงก่อนการทดสอบ เช่น การวัด intake air flow rate ของ	- ในการวัดอัตราการไหลของอากาศสามารถใช้เครื่องมือวัดที่เหมาะสมโดยให้ความถูกต้องในระดับ $\pm 5\%$	- ยังหาข้อสรุปไม่ได้

	ให้ความถูกต้องในระดับ $\pm 5\%$	blowers ขนาดเล็ก โดยใช้ turbine meters การวัดอัตราการไหลของอากาศ สามารถใช้เครื่องมือวัดที่เหมาะสม โดยให้ความถูกต้องประมาณ $\pm 5\%$	- การวัดอัตราการไหลของอากาศ ควรจะวัดที่เวลาหลังเริ่มทดสอบ และเวลาสิ้นสุดของแต่ละครั้ง ทดสอบแล้วใช้ค่าเฉลี่ยในการคำนวณ	- การวัดอัตราการไหลของอากาศ - ยังหาข้อสรุปไม่ได้
เครื่องวัดค่ากำลัง	- การวัด Wire power ควรใช้ recording polyphase watt meters ที่สามารถวัดได้ที่ 10-cycle per second peaks หรือ อาจใช้วิธีวัดค่า voltage, current และ power factor แล้วนำไปเข้าสู่สูตรคำนวณหาค่า Wire Horsepower⁵ - การคำนวณ Total delivered power จะประกอบด้วยผลรวมของ Delivered blower power, Delivered turbine power และ Delivered pump power ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรคำนวณตามลักษณะของอุปกรณ์ดังกล่าว	- การวัด power input สำหรับ aeration installation และ mixing facility จะต้องวัดอย่างต่ำ 2 ครั้งในแต่ละครั้งทดสอบที่ ณ เวลาเริ่มต้นและเวลาสิ้นสุด และนำไปหาค่าเฉลี่ยเพื่อคำนวณค่า aeration efficiency - อุปกรณ์การวัดค่า power input อาจเป็นรูปแบบ electrical power meter, clip-on instrument หรือ power measurement equipment อื่นๆ ที่ได้ตกลงใช้ก่อนการทดสอบ และให้ความถูกต้องในระดับ $\pm 3\%$	- การวัด Wire power อาจใช้ kWh-meters หรือ kW-instruments ชนิด temporary หรือ installed ที่ให้ความถูกต้องในระดับ $\pm 3\%$ - การวัด Wire power จะวัดที่เวลาหลังเริ่มทดสอบและเวลาสิ้นสุดของแต่ละครั้งทดสอบแล้วใช้ค่าเฉลี่ยในการคำนวณ	

รายการ Superscripts

1. ค่า θ ใช้ในการปรับแก้ค่า $K_L a$ ที่อุณหภูมิทดสอบไปเป็นค่า $K_L a$ ที่สภาวะมาตรฐาน 20°C

$$K_{La_{20}} = K_{La} \theta^{(20-T)}$$

2. ค่า Ω ใช้ในการปรับแก้ค่า C_{∞} ที่สภาวะทดสอบไปเป็นค่า C_{∞} ที่สภาวะมาตรฐาน 20°C และ 1.00 atm (101 kPa)

$$C_{\infty 20} = C_{\infty} \left[\frac{1}{\tau \Omega} \right]$$

โดย

$$\Omega = \frac{P_b}{P_s} \quad \text{และ} \quad \tau = \frac{C_{st}^*}{C_{s20}^*}$$

3. อากาศที่สภาวะมาตรฐาน คือ 20°C, 1.00 atm (101 kPa) และ 36% relative humidity

4. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 17th Edition, APHA, WPCF, AWWA (1989)

5. Wire Horsepower = 2.319×10^{-3} EIF โดย E (volts), I (amperes) และ F (power factor)

6. อากาศที่สภาวะมาตรฐาน คือ 0°C, 1013 hPa และ zero humidity

7. ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ที่ต้องการต่อการทดสอบหนึ่งครั้ง, M_{So}

$$M_{So} = 8 \cdot [(V \cdot C_i / 1000) + (t_M \cdot OC_{20} / 60)]$$

8. In-situ calibration of the DO probes ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่

- การทำ pre-calibration ในอากาศเปียก
- การตรวจสอบค่า zero DO ในสารละลายโซเดียมซัลไฟด์
- การติดตั้ง DO probes ในถังทดสอบ เพื่อทำ calibration กับค่า oxygen saturation value ที่ได้จากการทำ Winkler titration

9. $C_{s,p,T}$ คือ ค่าออกซิเจนละลายอิ่มตัวในการทดสอบ, mg/l

10. รูปแบบการจัดวางเครื่องเติมอากาศในถังทดสอบลักษณะต่างๆ

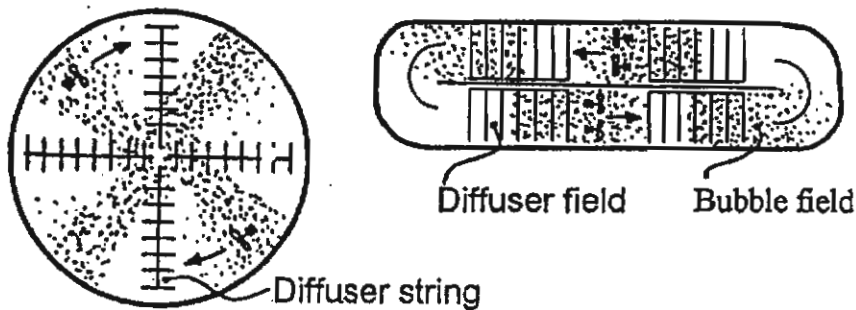


Fig. 5: Tanks with diffusers arranged in strings and in fields

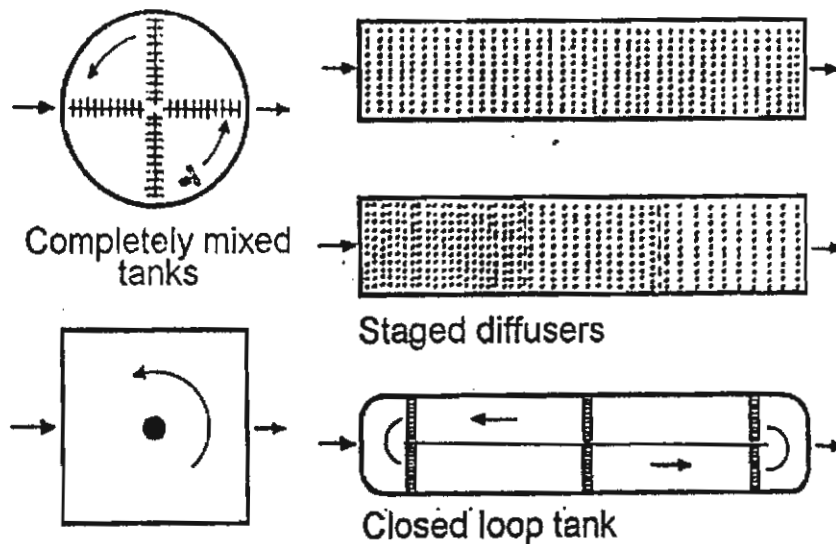


Fig. 6: Typical tank shapes with different aeration arrangements

11. การประมาณ time response ของ DO probe

$$t_{90\%} - \text{probe}[\text{seconds}] \leq 415/k_L a$$

เช่น ถ้า $K_L a$ ของ aeration facility มีค่าเท่ากับ 5 h^{-1} จะพบว่าค่า necessary reaction time $t_{90\%} \leq 83 \text{ seconds}$

12. ตัวอย่างการคำนวณปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2SO_3)

- ปริมาตรถังทดสอบ 1000 m^3
- ค่า DO concentration 11 mg/L
- ค่า oxygen transfer capacity 120 kg/h
- ค่า lag time 15 min

ปริมาณ Na_2SO_3 สำหรับ DO bonding $1000 \times 0.011 \times 8 = 88 \text{ kg}$

ปริมาณ Na_2SO_3 สำหรับ lag time $120 \times (15/60) \times 8 = 240 \text{ kg}$

ปริมาณ Na_2SO_3 รวม $= 328 \text{ kg}$

13. $C_{s,T}$ คือ ค่าออกซิเจนละลายในน้ำในการทดสอบ, mg/L

กลุ่มที่ 3

การเขียนรายงานผลการทดสอบเครื่องเติมอากาศ

รายละเอียดผลการทดสอบ	มาตรฐาน ASCE	มาตรฐาน EN	มาตรฐาน ATV	ข้อคิดเห็น
- อ้างอิงตามมาตรฐานการทดสอบ	Y	Y	Y	Y
- วัตถุประสงค์ของการทดสอบ	Y	Y	Y	Y
- การนำผลการทดสอบไปใช้	Y	N	N	W
- วันที่ทำการทดสอบ	Y	Y	Y	Y
- รายละเอียดของเครื่องเติมอากาศและสภาพการทำงาน	Y	Y	Y	Y
- จำนวน ตำแหน่ง และการจัดวางเครื่องเติมอากาศ	Y	Y	Y	Y
- รายละเอียดของถังทดสอบ	Y	Y	Y	Y
- รูปถ่ายของถังทดสอบและการติดตั้ง	Y	Y	Y	Y ¹
- ที่มาและคุณภาพของน้ำที่ใช้ทดสอบ	Y	Y	Y	Y
- รายละเอียดของการวัดและอุปกรณ์การวัดอัตราการไหลของอากาศ	Y	Y	Y	Y
- คุณสมบัติของอากาศ ได้แก่ ความดันบรรยากาศ, อุณหภูมิ และความชื้น	Y	Y	Y	Y
- ข้อมูลของการใช้กำลังงาน (horsepower) และขั้นตอนของการวัดและการคำนวณกำลังงาน ณ อุปกรณ์ต่าง ๆ	Y	Y	Y	Y
- ชื่อ ชนิด ที่มา และปริมาณของสารเคมีที่ใช้ ได้แก่ โซเดียมคลอไรด์ และ โคบอลต์ อะซิเตด	Y	Y	Y	Y ²
- ขั้นตอนการเติมสารเคมีในถังทดสอบ	Y	Y	Y	Y
- ผลการวิเคราะห์น้ำในแต่ละครั้งทดสอบ ได้แก่ อุณหภูมิ ค่า TDS และปริมาณโคบอลต์	Y	Y	Y	Y
- ผลการสังเกตความใสของน้ำ, การเกิดฟองและการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำ	Y	N	Y	Y

๗-๖-๖๖

รายละเอียดผลการทดสอบ	มาตรฐาน ASCE	มาตรฐาน EN	มาตรฐาน ATV	ข้อคิดเห็น
- ขั้นตอนการวัดปริมาณสารเคมีและการประมาณค่า TDS	Y	N	Y	Y ³
- ตารางแสดงค่า DO กับเวลา หรือรายงานในรูปแบบ digital หรือ strip chart	Y	Y*	Y*	Y*
- จำนวนและตำแหน่งของจุดวัดค่า DO	Y	Y	Y	Y
- รายละเอียดเครื่องมือและขั้นตอนในการวัดค่า DO	Y	Y	Y	Y
- ปริมาณน้ำทดสอบและระดับความลึกของน้ำ	Y	Y	Y	Y
- อัตราการไหลของอากาศเฉลี่ยและอัตราการไหลของอากาศในแต่ละครั้งทดสอบ	Y	Y	Y	Y
- รายละเอียดวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	Y	N	N	Y
- พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ เช่น อุณหภูมิ, ความหนาแน่น, ความดัน	Y	N	Y	Y
- สูตรค่าต่าง ๆ ที่คำนวณได้ ได้แก่ $K_L a$, $K_L a_{20}$, C_{∞}^* , C_{∞}^* ณ จุดวัดค่าต่าง ๆ	Y	Y	Y	Y
- ค่าเฉลี่ยของระบบโดยรวมของค่าที่คำนวณได้	Y	Y	Y	Y
- สูตรค่าต่าง ๆ ที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของการเติมอากาศ ได้แก่ ค่า SOTR, ค่า SAE และ ค่า SOTE	Y	Y	Y	Y
- เอกสารอ้างอิงของโปรแกรมการคำนวณโดยคอมพิวเตอร์หรือเครื่องคำนวณ	Y	Y	N	N
- บุคคลที่เกี่ยวข้องในการดำเนินงานทดสอบ	Y	Y	N	Y ⁴
- ความรับผิดชอบของบุคคลต่องานต่าง ๆ	Y	N	N	Y ⁴
- พยานที่อยู่ในสถานที่และเวลาทดสอบ	Y	Y	N	Y ⁵
- ความไม่แน่นอนของกระบวนการทดสอบที่อาจค้นพบ	Y	N	N	Y
- ระยะเวลาในการเก็บรักษาข้อมูลของการทดสอบ	N	Y**	Y**	Y ⁶
- ข้อดี, สิ่งที่แตกต่างกันไปจากมาตรฐานการทดสอบที่ได้กำหนดไว้	N	Y	N	Y
- ช่วงเวลาของการทดสอบ	N	N	N	Y

รายการสัญลักษณ์

- Y มีการรายงาน
- N ไม่มีการรายงาน
- W อยู่ในระหว่างการพิจารณา
- * รายงานตามความจำเป็นของผู้ประกอบการ
- ** ระยะเวลาในการเก็บรักษาข้อมูลอย่างต่ำ 2 ปี นับจากการรายงานผลการทดสอบ
- 1 ควรเพิ่มการรายงานแบบ Layout ของทั้งทดสอบและการติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ
- 2 ควรเพิ่มการรายงาน Technical Data ของสารเคมีที่ใช้ในการทดสอบ
- 3 ควรรายงานเป็นมาตรฐานที่ใช้วัดปริมาณโดยไม่ต้องรายงานขึ้นตอนโดยละเอียด
- 4 บุคคลที่เกี่ยวข้องและรับผิดชอบต้องงานทดสอบควรระบุในรายงานเพียงหนึ่งหรือสองคนต่อการทดสอบหนึ่งงาน
- 5 พยานในการทดสอบควรเป็นเจ้าหน้าที่ของศูนย์หรือเจ้าหน้าที่จากกรมควบคุมฯ
- 6 ระยะเวลาในการเก็บรักษาข้อมูลอย่างต่ำ 5 ปี นับจากการรายงานผลการทดสอบ

กลุ่มที่ 4

แนวทางการรายงานผลใน catalog ของผู้ผลิตและผู้จำหน่าย

ประเภทของผลิตภัณฑ์	รายละเอียดของผลิตภัณฑ์	ชื่อ	รายละเอียด
Diffused Aerator	แผนภาพแสดงลักษณะของเครื่องเติมอากาศ	ควร	- ควรบอกเป็นภาพรวมกว้างๆของข้อมูล - รายละเอียดปลีกย่อยขึ้นอยู่กับผู้ซื้อและนโยบายของบริษัท
	วัสดุที่ใช้ทำส่วนประกอบต่างๆ	ควร	- ควรระบุว่าจะเหมาะสมกับน้ำประเภทใด (กรดหรือด่าง)
	ข้อมูลอัตราการให้ออกซิเจน*	ควร	- เป็นปัญหาอย่างมากต่อผู้ผลิตเพื่อจำหน่ายกับผู้ใช้งานระบบบำบัดน้ำเสีย - ควรจะเป็นมาตรฐานเดียวกัน (ควรเป็นไปตามมาตรฐานสากล)
	ข้อมูลของ Head loss หรือ Pressure Drop	ควร	- อาจแสดงขนาดของ Blower ที่ใช้เพื่อลด Energy cost
	คุณสมบัติของฟองอากาศ	ควร	- บอก range of bubble size distribution ว่าเป็นแบบ fine bubble or coarse bubble
	ข้อมูลของอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ	ควร	- โดยทั่วไปมักบอกเป็นค่า average, maximum หรือ minimum (โดยปกติจะบอกเป็นค่า maximum)
	Working depth*	ควร	- โดยทั่วไปบอกเป็น SOTE curve , water depth - ขึ้นอยู่กับปัจจัย เช่น พื้นที่ และ ปัญหาหน้าดิน - ส่วนมากจะมีความลึก < 6 เมตร (เท่าที่เห็นลึกที่สุด 6 เมตร) - ความลึกในการใช้งานมีผลต่อการเลือกใช้ Blower
	ลักษณะการประยุกต์ใช้งาน	ไม่จำเป็น	- ไม่บังคับขึ้นกับตลาด
	ข้อมูลของ Blower	ไม่จำเป็น	- มักจะให้ข้อมูลและแนะนำตามแต่ความต้องการของลูกค้า - ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตและผู้ขาย
	วิธีการติดตั้ง	ไม่จำเป็น	- ส่วนมากบอกเป็นลักษณะการติดตั้งทั่วไป - ส่วนขั้นตอนการติดตั้งอย่างละเอียดจะบอกหลังจากมีการสั่งซื้อ
	Mixing and flow pattern	ไม่จำเป็น	- ขึ้นอยู่กับผู้ผลิต
	อื่นๆ		- ควรบอกประสิทธิภาพของเครื่อง - ควรให้ข้อมูลอายุการใช้งาน - ควรบอกขนาดของ aerator

* มีการอ้างอิงจากผลทดสอบ

ประเภทเครื่องใช้	จุดสังเกตที่ควรพิจารณา	หมายเหตุ	คำแนะนำ
ชนิดเครื่องใช้ Low and High Speed Surface Aerator (Floating and Fix type)	แผนภาพแสดงลักษณะของเครื่องเติมอากาศ	ควร	- ควรบอกเป็นภาพรวมๆกว้างๆของข้อมูล - รายละเอียดปลีกย่อยขึ้นอยู่กับผู้ซื้อและนโยบายของบริษัท
	วัสดุที่ใช้ทำส่วนประกอบต่างๆ	ควร	- ควรระบุว่าจะเหมาะกับน้ำประเภทใด (กรดด่าง)
	ข้อมูลของ Motor	ควร	- ควรดูประสิทธิภาพ ชนิด ขนาดแรงม้า ความเร็ว ของมอเตอร์
	ข้อมูลการให้ออกซิเจน*	ควร	- เป็นปัญหาอย่างมากต่อผู้ผลิตเพื่อจำหน่ายกับผู้ซื้อเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสีย - ควรจะเป็นมาตรฐานเดียวกัน (ควรเป็นไปตามมาตรฐานสากล)
	Working depth*	ควร	- โดยทั่วไปบอกเป็น SOTE curve , water depth - ขึ้นอยู่กับปัจจัย เช่น พื้นที่ และ ปัญหาหน้าดิน
	ลักษณะการประยุกต์ใช้งาน	ไม่จำเป็น	- ไม่บังคับขึ้นกับตลาด
	วิธีการติดตั้ง	ไม่จำเป็น	- ส่วนมากบอกเป็นลักษณะการติดตั้งทั่วไป ส่วนขั้นตอนการติดตั้งอย่างละเอียดจะบอกหลังจากมีการสั่งซื้อ
	Mixing and flow pattern	ไม่จำเป็น	- ขึ้นอยู่กับผู้ผลิต
	อื่นๆ		- ควรบอกขนาดของ aerator - แบบ Floating ควรบอกชนิดและขนาดของทุ่นที่จะทำให้ aerator ลอย - ควรบอกความเร็วรอบของ turbine ที่ใช้ - ควรบอกรายละเอียดของชุดเกียร์ทดรอบ และ output speed - ควรบอกชนิด turbine ว่าเป็นแบบใด เช่น กันน้ำไหม

* มีการอ้างอิงจากผลทดสอบ

ประเภทเทคโนโลยี	อุปกรณ์ที่ใช้ (Device)	วัสดุ	ข้อดี/ข้อเสีย
Paddle Wheel Aerator	แผนภาพแสดงลักษณะของเครื่องเติมอากาศ	ควร	- ควรบอกเป็นภาพรวมกว้างๆของข้อมูล - รายละเอียดปลีกย่อยขึ้นอยู่กับผู้ซื้อและนโยบายของบริษัท
	ข้อมูลของ Motor	ควร	
	ข้อมูลของใบพัด	ควร	- ควรบอกขนาดและจำนวนใบพัดที่ใช้
	วัสดุที่ใช้ทำส่วนประกอบต่างๆ	ควร	- ส่วนมากบอกเป็นลักษณะการคิดต้นทุนไป - ส่วนขั้นตอนการติดตั้งอย่างละเอียดจะบอกหลังจากมีการสั่งซื้อ
	ข้อมูลการให้ออกซิเจน*	ควร	- ขึ้นอยู่กับผู้ผลิต
	Working depth*	ควร	- โดยทั่วไปบอกเป็น SOTE curve , water depth - ขึ้นอยู่กับปัจจัย เช่น พื้นที่ และ ปัญหาหน้าดิน
	ลักษณะการประยุกต์ใช้งาน	ไม่จำเป็น	- ไม่บังคับขึ้นกับตลาด
	วิธีการติดตั้ง	ไม่จำเป็น	- ส่วนมากบอกเป็นลักษณะการคิดต้นทุนไป - ส่วนขั้นตอนการติดตั้งอย่างละเอียดจะบอกหลังจากมีการสั่งซื้อ
	Mixing and flow pattern	ไม่จำเป็น	- ขึ้นอยู่กับผู้ผลิต
	อื่นๆ		- ควรบอกประสิทธิภาพของเครื่องและขนาดของ aerator - ควรบอกลักษณะที่เหมาะสม - ควรบอกจำนวนใบพัดที่ใช้ - โดยทั่วไปไม่นิยมใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย - ส่วนมากใช้กับนาุ้ง และเป็นแบบ Brush aerator - low efficiency

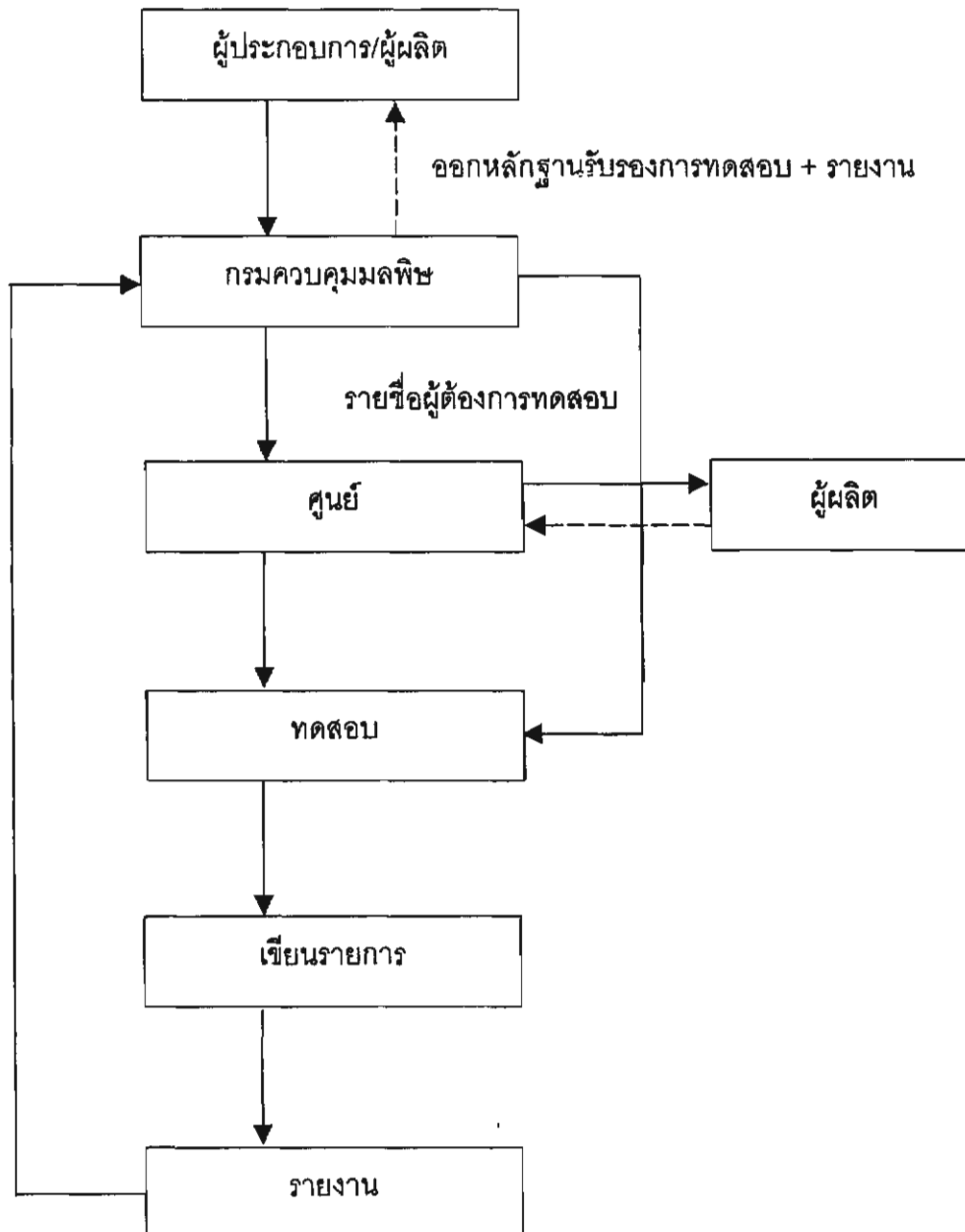
* มีการอ้างอิงจากผลทดสอบ

ประเภทผลิตภัณฑ์	คุณสมบัติหลักของผลิตภัณฑ์	หมายเหตุ	ข้อควรพิจารณา
Aspirating Aerator	แผนภาพแสดงลักษณะของเครื่องเติมอากาศ	ควร	- ควรบอกเป็นภาพรวมๆกว้างๆของข้อมูลรายละเอียดปลีกย่อยขึ้นอยู่กับผู้ซื้อและนโยบายของบริษัท
	วัสดุที่ใช้ทำส่วนประกอบต่างๆ	ควร	- ควรระบุว่าเหมาะสมกับน้ำประเภทใด (กรดหรือด่าง)
	ข้อมูลของ Motor	ควร	
	ข้อมูลการให้ออกซิเจน*	ควร	- เป็นปัญหาอย่างมากต่อผู้ผลิตเพื่อจำหน่ายกับผู้ซื้อที่ระบบบำบัดน้ำเสีย - ควรจะเป็นมาตรฐานเดียวกัน (ควรเป็นไปตามมาตรฐานสากล)
	Working depth*	ควร	- โดยทั่วไปบอกเป็น SOTE curve , water depth - ขึ้นอยู่กับปัจจัย เช่น พื้นที่ และ ปัญหาหน้าดิน
	Mixing Volume	ควร	- ใช้ชื่อทั่วไปว่าอะไร Mixing distance, area, effective area
	ลักษณะการประยุกต์ใช้งาน	ไม่จำเป็น	- ไม่บังคับขึ้นกับตลาด
	วิธีการติดตั้ง	ไม่จำเป็น	- ส่วนมากบอกเป็นลักษณะการติดตั้งทั่วไป ส่วนขั้นตอนการติดตั้งอย่างละเอียดจะบอกหลังจากมีการสั่งซื้อ
	Mixing and flow pattern	ไม่จำเป็น	- ขึ้นอยู่กับผู้ผลิต
	อื่นๆ		

* มีการอ้างอิงจากผลทดสอบ

กลุ่มที่ 5
ขั้นตอนการยื่นเอกสารเพื่อการตรวจประเมิน

ในกรณีที่ต้องการหลักฐานรับรองการทดสอบจากกรมควบคุมมลพิษของผลิตภัณฑ์





แบบฟอร์มบริการทดสอบ
ศูนย์วิจัยและทดสอบการเติมอากาศ

ลับ

ที่ทำการ : ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถนนพิบูลสงคราม บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 โทรศัพท์ 02-913-2500-24 ต่อ 8230, 8237
โทรสาร 02-587-0024 E-mail : arp@kmitnb.ac.th

บริษัท

ที่อยู่.....

โทรศัพท์.....โทรสาร.....

ประเภทของกิจการ.....

ประเภทของเครื่องเติมอากาศที่ต้องการทดสอบ.....

ขนาดมอเตอร์.....แรงม้า

ความต้องการอื่น ๆ 1.....
2.....
3.....

ชื่อผู้มาขอรับบริการ

วันที่เริ่มงาน

วันที่นัดหมายมารับผลการทดสอบ

ราคาโดยประมาณ

ผู้นัดหมาย

เลขที่อ้างอิง.....

(ผู้นัดหมายต้องลงเลขที่อ้างอิงทุกหน้า)



สำเนา
แบบฟอร์มบริการทดสอบ
ศูนย์วิจัยและทดสอบการเติมอากาศ

ลับ

ที่ทำการ : ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถนนพิบูลสงคราม บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 โทรศัพท์ 02-913-2500-24 ต่อ 8230, 8237
โทรสาร 02-587-0024 E-mail : arp@kmitnb.ac.th

บริษัท

ที่อยู่.....
.....

โทรศัพท์.....โทรสาร.....

ประเภทของกิจการ.....

ประเภทของเครื่องเติมอากาศที่ต้องการทดสอบ.....

ขนาดมอเตอร์.....แรงม้า

ความต้องการอื่น ๆ 1.....
2.....
3.....

ชื่อผู้มาขอรับบริการ

วันที่เริ่มงาน

วันที่นัดหมายมารับผลการทดสอบ

ราคาโดยประมาณ

ผู้นัดหมาย

เลขที่อ้างอิง.....

(ผู้นัดหมายต้องลงเลขที่อ้างอิงทุกหน้า)

วันที่รับงาน วันที่นัดหมาย

ประเภทของเครื่องเติมอากาศ.....

ขนาดมอเตอร์.....แรงม้า

ความต้องการอื่น ๆ 1.
2.
3.

ถังทดสอบ สจพ. กรุงเทพฯ

1. ปริมาณน้ำก่อนทดสอบ.....ลบ.เมตร
ปริมาณน้ำหลังทดสอบ.....ลบ.เมตร
2. ความดันสมบูรณ์ม.ม.ปรอท
3. ปริมาณ Na_2SO_3กิโลกรัม
4. ปริมาณ CoCl_3กรัม
5. อุณหภูมิน้ำทดสอบองศาเซลเซียส
6. เวลาทดสอบ..... นาที
7. มิเตอร์ไฟ เริ่มต้น.....สุดท้าย.....
8. มอเตอร์..... โวลต์
.....แอมแปร์
.....เพาเวอร์แฟคเตอร์
9. ทอร์ค.....
10. K_a
11. SAE

ถังทดสอบ สจพ. ปราชินบุรี

1. ปริมาณน้ำก่อนทดสอบ.....ลบ.เมตร
ปริมาณน้ำหลังทดสอบ.....ลบ.เมตร
2. ความดันสมบูรณ์ม.ม.ปรอท
3. ปริมาณ Na_2SO_3กิโลกรัม
4. ปริมาณ CoCl_3กรัม
5. อุณหภูมิน้ำทดสอบองศาเซลเซียส
6. เวลาทดสอบ.....นาที
7. มิเตอร์ไฟ เริ่มต้น.....สุดท้าย.....
8. มอเตอร์..... โวลต์
.....แอมแปร์
.....เพาเวอร์แฟคเตอร์
9. ทอร์ค.....
10. K_a
11. SAE

ผู้ทดสอบ.....วันที่.....

ผู้บันทึก.....วันที่.....

ผู้ตรวจสอบ.....วันที่.....

1. สภาพภายนอกของเครื่องเติมอากาศ

.....
.....
.....

2. ถ่ายรูปเครื่องเติมอากาศ ผู้ถ่ายรูป.....วันที่.....
ถ้าไม่ได้ถ่ายรูปให้ระบุเหตุผล

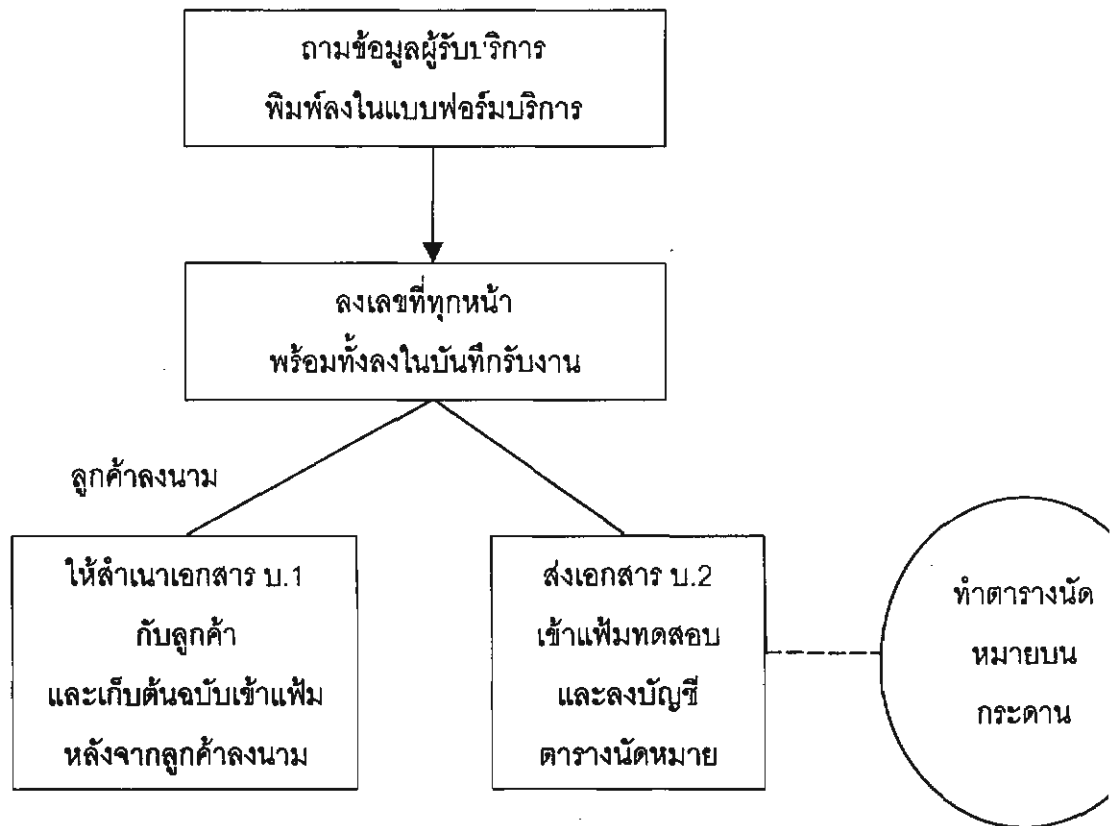
3. สภาพมอเตอร์.....
.....
.....

4. น้ำหนักเครื่องเติมอากาศ.....กิโลกรัม

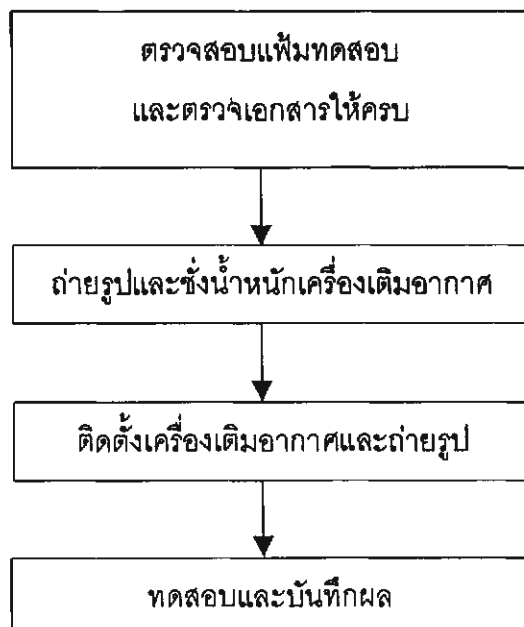
5. การติดตั้งเครื่องเติมอากาศ.....
.....
.....

ผู้ถ่ายรูป.....วันที่.....

การรับงาน



การทดสอบ



ตรวจสอบความเรียบร้อย
ของมอเตอร์และ
เครื่องเติมอากาศ

เนื่องจากการสัมมนาในกลุ่มย่อยในกลุ่มที่ 5 นี้มีผู้เข้าร่วมแลกเปลี่ยนความคิดเห็นจำนวนน้อย ในการสัมมนาในวันนั้นได้ยุบกลุ่ม 5 ไปรวมกับกลุ่มย่อย 4 และ อ.อนุรักษ์ ได้สรุปและตอบคำถาม ดังนี้

คำถาม ข้อมูลที่ทดสอบจะเป็นความลับเฉพาะศูนย์วิจัยและผู้ผลิตและกรมควบคุมมลพิษเท่านั้นหรือไม่ คือไม่มีการเปิดเผยต่อสาธารณชนโดยศูนย์ฯ ไซไหม?

ตอบ ใช่ ข้อมูลทุกอย่างจะถูกรักษาเป็นความลับเฉพาะศูนย์วิจัยและผู้ผลิตและกรมควบคุมมลพิษเท่านั้น ยกเว้นแต่การทดสอบนั้นๆ จะได้รับการสนับสนุนด้านการเงินทั้งหมดหรือบางส่วนจากหน่วยงานของรัฐ แต่อย่างไรก็ตามความเหมาะสมในการเปิดเผยข้อมูลยังมีปัจจัยเรื่องระยะเวลาในการเก็บข้อมูลก่อนทำการเปิดเผย ซึ่งควรมีการทำความเข้าใจตกลงกันก่อน และมีข้อนำสังเกตอีกประการ คือ การเปิดเผยข้อมูลในเวลาที่เหมาะสมอาจแสดงผลเชิงบวกให้กับบริษัทก็เป็นได้

คำถาม ถ้าผู้ผลิตไม่ต้องการใบรับรองจากกรมควบคุมมลพิษ จะมีการลดค่าใช้จ่ายในการทดสอบหรือไม่ ?

ตอบ เนื่องจากกรมควบคุมมลพิษได้แสดงเจตนารมณ์ว่าจะสนับสนุนโดยไม่มีค่าใช้จ่าย และในการทดสอบนี้ทางศูนย์มีนโยบายที่จะคิดค่าบริการต่ำสุดเท่าที่ทำได้ ดังนั้นถ้าผู้ประกอบการรายใดที่ไม่ต้องการรายงานผลฉบับสมบูรณ์ ต้องการเฉพาะข้อมูลดิบเพื่อนำกลับไปวิเคราะห์เองหรืออาจร่วมปรึกษาจากทางศูนย์ฯ ค่าใช้จ่ายในการทดสอบต้องลดลง แต่ในกรณีที่ผู้ประกอบการต้องการรายงานเต็มรูปแบบแล้วค่าใช้จ่ายน่าจะยังคงเดิม

คำถาม ช่วงระยะเวลาของการรายงานผลของศูนย์ไปยังกรมควบคุมมลพิษ เพื่อออกหลักฐานการรับรองนานเพียงใด ?

ตอบ การทดสอบในสถานะหนึ่งๆ น่าจะเสร็จสมบูรณ์ภายใน 1 สัปดาห์ รวมระยะเวลาของเอกสารและเขียนรายงานแล้วไม่น่าจะเกิน 3 สัปดาห์ ทั้งนี้งานส่วนหนึ่งจะเป็นของกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งในเบื้องต้นแล้วเป็นการยากที่จะกำหนดเวลาให้ชัดเจน

ทำเนียบรุ่นการสัมมนาเชิงปฏิบัติการ เรื่อง "ข้อกำหนดในการทดสอบเครื่องเติมอากาศ ครั้งที่ 1"

1.



ชื่อ - นามสกุล ประไพ แจ่มสายบัว
ที่ทำงาน บจก. อควา นิธิธำรา
ที่อยู่ 99/167-9 ด.เทศบาลสงเคราะห์
แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กทม. 10900
โทรศัพท์ (02) 589-9717
โทรสาร (02) 580-2356-7

5.



ชื่อ - นามสกุล พิเศษ บุญยสิริวัฒน์
ที่ทำงาน บจก. ลุฟท์เทค
ที่อยู่ 1800/19 ซ.สุขุมวิท 54/1 ด.สุขุมวิท
แขวงบางจาก เขตพระโขนง กทม. 10250
โทรศัพท์ (02) 331-5407-8
โทรสาร (02) 742-9660

2.



ชื่อ - นามสกุล ขาดิชาย ยมะคุปต์
ที่ทำงาน ศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรม
พลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรม
ที่อยู่ ม.เกษตรศาสตร์ (กำแพงแสน)
โทรศัพท์ (034) 281-101
โทรสาร (034) 281-100

6.



ชื่อ - นามสกุล วรชาติ เมืองสอน
ที่ทำงาน บจก. ริเวอร์ เอนจิเนียริง
ที่อยู่ 555 ซ.เกตุญาติ ด.ลาดพร้าว 64
วังทองหลาง กทม. 10310
โทรศัพท์ (02) 932-7788
โทรสาร (02) 932-7600

3.



ชื่อ - นามสกุล สมชัย เมื่อกจัน
ที่ทำงาน บจก. โฟลไลน์ เมนูแฟคเจอร์ริง
ที่อยู่ 43/3-4 ซ.เพชรเกษม 41 หมู่ 3
ต.เพชรเกษม บางแค กทม. 10160
โทรศัพท์ (02) 454-8161-3
โทรสาร (02) 454-8164

7.



ชื่อ - นามสกุล โกมล ทัพพันธ์ดี
ที่ทำงาน บจก. ฟินิกซ์ สยาม
ที่อยู่ 73/37 หมู่ 3 ซ.หมู่บ้านมั่นคง 14
แขวงจิมพลี เขตตลิ่งชัน กทม. 10170
โทรศัพท์ (01) 658-0262
โทรสาร (02) 969-1638

4.



ชื่อ - นามสกุล ไพโรจน์ ตั้งจิตต์ภราดร
ที่ทำงาน บจก. โฟลไลน์ เมนูแฟคเจอร์ริง
ที่อยู่ 43/3-4 ซ.เพชรเกษม 41 หมู่ 3
ต.เพชรเกษม บางแค กทม. 10160
โทรศัพท์ (02) 454-8161-3
โทรสาร (02) 454-8164

8.



ชื่อ - นามสกุล มัลลิกา ปัญญาคะโป
ที่ทำงาน ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
ที่อยู่ คณะวิทยาศาสตร์ ม.ศิลปากร
(สนามจันทร์) จ.นครปฐม 7300
โทรศัพท์ (034) 219-146
โทรสาร (034) 273-047

9.



ชื่อ - นามสกุล สรรเสริญ ธรรมาภิรมณ์
ที่ทำงาน บจก. ริเวอร์ เอนจิเนียริง
ที่อยู่ 555 ซ.เกตุญาติ ถ.ลาดพร้าว 64
วังทองหลาง กทม. 10310
โทรศัพท์ (02) 932-7788
โทรสาร (02) 932-760

10.



ชื่อ - นามสกุล สายใจ บุญแข็ง
ที่ทำงาน บจก. สหคิม
ที่อยู่ 46-52 ถ.เฉลิมเชตร์ 3 แขวงวัดเทพ
ศิรินทร์ เขตป้อมปราบฯ กทม. 10100
โทรศัพท์ (02) 655-4810-19 ต่อ 126
โทรสาร (02) 621-5760

11.



ชื่อ - นามสกุล กรวิทย์ ไธชนะ
ที่ทำงาน บจก. สหคิม
ที่อยู่ 46-52 ถ.เฉลิมเชตร์ 3 แขวงวัดเทพ
ศิรินทร์ เขตป้อมปราบฯ กทม. 10100
โทรศัพท์ (02) 655-4810-19 ต่อ 126
โทรสาร (02) 621-5760

12.



ชื่อ - นามสกุล ปองพล ภูมิวิเศษ
ที่ทำงาน บจก. ริเวอร์ เอนจิเนียริง
ที่อยู่ 555 ซ.เกตุญาติ ถ.ลาดพร้าว 64
วังทองหลาง กทม. 10310
โทรศัพท์ (02) 932-7788
โทรสาร (02) 932-7600

13.



ชื่อ - นามสกุล จิสรุตต์ จัยสวัสดิ์
ที่ทำงาน บจก. ริเวอร์ เอนจิเนียริง
ที่อยู่ 555 ซ.เกตุญาติ ถ.ลาดพร้าว 64
วังทองหลาง กทม. 10310
โทรศัพท์ (02) 932-7788
โทรสาร (02) 932-7600

14.



ชื่อ - นามสกุล แจ่ม สุนศักดิ์
ที่ทำงาน บจก. ซีเล (ไทยแลนด์)
ที่อยู่ 279/29 ถ.สุทธิสารวินิจฉัย
แขวงสามเสนนอก ห้วยขวาง กทม. 1032
โทรศัพท์ (02) 274-8675-80
โทรสาร (02) 274-7495

15.



ชื่อ - นามสกุล สุพุด แก้วแกมคำ
ที่ทำงาน บจก. ซีเล (ไทยแลนด์)
ที่อยู่ 279/29 ถ.สุทธิสารวินิจฉัย
แขวงสามเสนนอก ห้วยขวาง กทม. 1032
โทรศัพท์ (02) 274-8675-80
โทรสาร (02) 274-7495

16.



ชื่อ - นามสกุล ก้องสมุทร วีรวัฒน์
ที่ทำงาน บจก. สุฟท์เทค
ที่อยู่ 1800/19 ซ.สุขุมวิท 54/1 ถ.สุขุมวิท
แขวงบางจาก เขตพระโขนง กทม. 10250
โทรศัพท์ (02) 331-5407-8
โทรสาร (02) 742-9660

17.



ชื่อ - นามสกุล ภาสินี ศรีวรรณะ
ที่ทำงาน Inox International Co.,Ltd.
ที่อยู่ 25/5/11 ม.6 ต.ตลาดขวัญ
อ.เมือง จ.นนทบุรี 11000
โทรศัพท์ (02) 650-5223
โทรสาร (02) 650-5566

18.



ชื่อ - นามสกุล พงศ์ชัย นิมเจริญวรรค
ที่ทำงาน Inox International Co.,Ltd.
ที่อยู่ 25/5/11 ม.6 ต.ตลาดขวัญ
อ.เมือง จ.นนทบุรี 11000
โทรศัพท์ (02) 650-5223
โทรสาร (02) 650-5566

19.



ชื่อ - นามสกุล วิทวัส หุตะเมขลิน
ที่ทำงาน บจก. แอสโซซิเอชั่น ออฟ ตรี
ที่อยู่ 84/51 หมู่ 6 ถนนพระราม 2
แขวงสามด้า เขตบางขุนเทียน กทม. 10150
โทรศัพท์ (02) 894-0191-4
โทรสาร (02) 416-0007

20.



ชื่อ - นามสกุล วิพัฒนา พรหมศิริ
ที่ทำงาน บจก. แอสโซซิเอชั่น ออฟ ตรี
ที่อยู่ 84/51 หมู่ 6 ถนนพระราม 2
แขวงสามด้า เขตบางขุนเทียน กทม. 10150
โทรศัพท์ (02) 894-0191-4
โทรสาร (02) 416-0007

21.



ชื่อ - นามสกุล สาลินี รุเซ็น
ที่ทำงาน หจก. หริกุล
ที่อยู่ 28/3-4 ถ.สุขุมวิท 69 เขตวัฒนา
กทม. 10110
โทรศัพท์ (02) 391-4993-4
โทรสาร (02) 391-8100

22.



ชื่อ - นามสกุล Keight Leung
ที่ทำงาน หจก. หริกุล
ที่อยู่ 28/3-4 ถ.สุขุมวิท 69 เขตวัฒนา
กทม. 10110
โทรศัพท์ (02) 391-4993-4
โทรสาร (02) 391-8100

23.



ชื่อ - นามสกุล วุฒิกร หริพจน์พรกุล
ที่ทำงาน หจก. หริกุล
ที่อยู่ 28/3-4 ถ.สุขุมวิท 69 เขตวัฒนา
กทม. 10110
โทรศัพท์ (02) 391-4993-4
โทรสาร (02) 391-8100

24.



ชื่อ - นามสกุล เอกชัย รัศมี
ที่ทำงาน บจก. ทอเพค
ที่อยู่ 7 หมู่ 8 ถ.ประชาร่วมใจ แขวงคลอง
ทรายดินใต้ เขตสามวา กทม. 10510
โทรศัพท์ (02) 543-7421, (02) 543-7065
โทรสาร (02) 543-7701

25.



ชื่อ - นามสกุล ชาญพงษ์ พูลพิพัฒน์
ที่ทำงาน บจก. ยูนิ แชล โพล
ที่อยู่ 49/108-110 หมู่บ้านกฤติกร
ถ.นาคนิวาส ลาดพร้าว กทม. 10230
โทรศัพท์ (02) 530-2740-3
โทรสาร (02) 530-4648

26.



ชื่อ - นามสกุล ศิริลักษณ์ ศิริ
ที่ทำงาน บจก. ยูนิ แชล โพล
ที่อยู่ 49/108-110 หมู่บ้านกฤติกร
ถ.นาคนิวาส ลาดพร้าว กทม. 10230
โทรศัพท์ (02) 530-2740-3
โทรสาร (02) 530-4648

27.



ชื่อ - นามสกุล สมร หิรัญประดิษฐกุล
ที่ทำงาน ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
ที่อยู่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจพ.
1518 บางซื่อ กทม. 10800
โทรศัพท์ (02) 913-2500-24 ต่อ 8231
โทรสาร (02) 587-0024

28.



ชื่อ - นามสกุล พนิดนาฏ จันทรานุกาพ
ที่ทำงาน ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
ที่อยู่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจพ.
1518 บางซื่อ กทม. 10800
โทรศัพท์ (02) 913-2500-24 ต่อ 8233
โทรสาร (02) 587-0024

29.



ชื่อ - นามสกุล ดิราวุธ พงศ์ประยูร
ที่ทำงาน ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
ที่อยู่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจพ.
1518 บางซื่อ กทม. 10800
โทรศัพท์ (02) 913-2500-24 ต่อ 8232
โทรสาร (02) 587-0024

30.



ชื่อ - นามสกุล พิจิตร เจียมวางกูร
ที่ทำงาน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
ที่อยู่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจพ.
1518 บางซื่อ กทม. 10800
โทรศัพท์ (02) 913-2500-24 ต่อ 8620
โทรสาร (02) 587-4337

$k_{La,20}$	oxygen transfer coefficient at $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, in 1/h
$k_{La,T}$	oxygen transfer coefficient at test temperature, in 1/h
M_{S_0}	mass of sodium sulphite needed for one test, in kilogramme
OTR_{20}	standard oxygen transfer rate, in g/(m ³ ·h)
OC_{20}	standard oxygen transfer capacity, in kg/h
p^*	barometric pressure during sampling for Winkler titration, in hektopascal (hPa)
p^*	barometric pressure during a test, in hektopascal (hPa)
p_{St}	barometric standard pressure (1013 hPa), in hektopascal (hPa)
Q_A	normal air flow rate, in Nm ³ /h
t_m	mixing period at oxygen concentration $C = 0$, in minutes (min)
V	tank volume, in m ³

5 Principle and procedures

After decreasing (absorption test) or increasing (de-sorption test) the dissolved oxygen concentration of an aeration tank at constant mixing and a certain aeration setting the increasing or decreasing dissolved oxygen concentration is monitored. This is described by the following equation:

$$C_t = C_{s,p,T} - (C_{s,p,T} - C_0) \cdot \exp(-k_{La,T} \cdot t) \quad (6)$$

By a non-linear regression method equation 6 is fitted to the measured values of C_t . The values for C_0 , $C_{s,p,T}$ and $k_{La,T}$ are obtained. The residues (C_t (measured) - C_t (calculated)) plotted versus time shall be randomly distributed. If they follow a curve a new evaluation shall be performed at which one or more values C_t either and/or from the beginning or the end of the curve are to be neglected. Any computer program for non-linear parameter estimation may be used, eg Stenstrom et al. [1981]. The disks provided by ASCE [1992], by ATV [1996] or by FUL [1995] may be used as well.

NOTE 1: The value of k_{La} is not affected by the calibration of the DO probes. The exact determination of $C_{s,p,T}$ requires accurately calibrated DO probes or Winkler titration, see EN 25813 and EN 25814.

NOTE 2: Experienced Institutions may apply linear estimation (log deficit method) of k_{La} using a measured oxygen saturation value $C_{s,p,T}$, see Annex A.

The oxygen transfer absorption test is the most common test method at which the dissolved oxygen concentration of the aeration tank by addition of sodium sulphite or by injection of nitrogen gas at first is decreased and then aerated close to oxygen saturation. From the increasing dissolved oxygen concentration monitored during the aeration period the oxygen transfer coefficient and the oxygen saturation value are to be determined.

สัมมนาเชิงปฏิบัติการ

เอกสารแนบหมายเลข 1

เรื่อง

ข้อกำหนดในการทดสอบเครื่องเดิมอากาศ ครั้งที่ 2

วันอังคารและพุธที่ 13-14 พฤษภาคม 2546

ณ ห้องฉานชมพู ชั้น 4 ตึก 81 คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

วันอังคารที่ 13 พฤษภาคม 2546

08.300-09.00	ลงทะเบียน	หน้าห้องฉานชมพู
09.00-09.15	พิธีเปิดการสัมมนาเชิงปฏิบัติการ โดยท่านรองอธิการบดี	รศ.ชาญ ถนัดงาน รองอธิการบดีฝ่ายวิจัยและประกันคุณภาพการศึกษา ห้องฉานชมพู
09.15-09.45	การตรวจประเมินเครื่องเดิมอากาศในประเทศไทย ในมุมมองของ กรมควบคุมมลพิษ	ดร.ชนินทร์ ทองธรรมชาติ ผอ.สถาบันพัฒนาเทคโนโลยีการควบคุมมลพิษ ห้องฉานชมพู
09.45-10.15	ความก้าวหน้าการจัดตั้งศูนย์วิจัยและทดสอบการเดิมอากาศ สจพ.	ผศ.ดร.อนุรักษ์ ปิตรีกษ์สกุล และ อ.สุวิทย์ เทียมเพชร อ.ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี สจพ. ห้องฉานชมพู
10.15-10.30	พักรับประทานอาหารว่างและเครื่องคัม	ห้องรับรอง
10.30-12.00	สัมมนากลุ่มย่อย* เรื่องสถานะและขั้นตอนในการตรวจประเมินเครื่องเดิมอากาศ	Staff ห้องฉานชมพู
12.00-13.00	พักรับประทานอาหารกลางวัน	ห้องรับรอง
13.00-15.00	ภาคปฏิบัติในการตรวจวัดและสอบเทียบค่าพารามิเตอร์ในการตรวจประเมินเครื่องเดิมอากาศ	Staff ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเคมี
15.00-15.15	พักรับประทานอาหารว่างและเครื่องคัม	ห้องรับรอง
15.15-16.30	รายงานผลการประชุมกลุ่มย่อยเรื่องสถานะและขั้นตอนในการตรวจประเมินเครื่องเดิมอากาศ	Staff และผู้เข้าร่วมประชุม ห้องฉานชมพู
16.30	สรุปผลการประชุม	

*หมายเหตุ การประชุมกลุ่มย่อยจะมีการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น ข้อเสนอแนะและประสบการณ์ในหัวข้อ

1. สถานะในการทดสอบเครื่องเดิมอากาศ (อุณหภูมิ น้ำ อากาศ ความชื้นอากาศ วิธีการวัดค่า)
2. การเตรียมและเดิมสารเคมี (การตรวจวัดปริมาณโคบอลต์ไอออน ค่าการนำไฟฟ้าและของแข็งละลายทั้งหมด)
3. การปรับเทียบค่าออกซิเจนละลาย

วันพุธที่ 14 พฤษภาคม 2546

09.00-09.20	บรรยายพิเศษเรื่อง "การมีส่วนร่วมในการออกแบบและสร้างเครื่องกลเติมอากาศตามแนวพระราชดำริ"	วิทยากรรับเชิญพิเศษ ผอ.สุเกษม เจริญจันทร์ สำนักงานเครื่องจักรกล กรมชลประทาน
09.20-10.30	สัมมนากลุ่มย่อย* เรื่องการวัดหาค่าประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศ	Staff
10.30-10.45	พักรับประทานอาหารว่างและเครื่องดื่ม	ห้องรับรอง
10.45-12.30	ภาคปฏิบัติในการตรวจวัดและสอบเทียบค่าพารามิเตอร์ในการตรวจประเมินเครื่องเติมอากาศ	Staff ห้องปฏิบัติการภาควิศวกรรมเคมี
12.30-13.30	พักรับประทานอาหารกลางวัน	ห้องรับรอง
13.30-15.30	รายงานผลการประชุมกลุ่มย่อยเรื่องสถานะและขั้นตอนในการตรวจประเมินเครื่องเติมอากาศ	Staff และผู้เข้าร่วมประชุม ห้องประชุม
15.30	สรุปผลการประชุมและปิดการประชุม	

*หมายเหตุ การประชุมกลุ่มย่อยจะมีการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น ข้อเสนอแนะและประสบการณ์ในหัวข้อ

1. การเตรียมการทดสอบ
2. การวัดหาค่าประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศ
3. การคำนวณค่าประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศ

ผู้เข้าร่วมสมมนาเชิงปฏิบัติการ
เรื่อง "ข้อกำหนดในการทดสอบเครื่องเติมอากาศ ครั้งที่ 2"
วันอังคาร-พุธที่ 13 - 14 พฤษภาคม 2545
ณ ห้องลานชมพู่ อาคาร 81 ชั้น 4 คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ลำดับที่	- นามสกุล	หน่วยงาน	ลายมือชื่อ	หมายเหตุ
1	คุณ แจ่ม สุนศักดิ์	บริษัท ซีเล (ไทยแลนด์) จำกัด		
2	คุณ ปิยะ พานิชปฐุม	บริษัท อินอค์ อินเตอร์ จำกัด		ส่งเล่มเรียบร้อยแล้ว
3	คุณ นรศ ฤทธิ์ไกร	บริษัท ไฟลไลน์ แมนูแฟคเจอร์ จำกัด		ส่งเล่มเรียบร้อยแล้ว
4	คุณ ไพโรจน์ ตั้งจิตต์ภราดร	บริษัท ไฟลไลน์ แมนูแฟคเจอร์ จำกัด		ส่งเล่มเรียบร้อยแล้ว
5	คุณ สมิตว อินแดง	บริษัท ไฟลไลน์ แมนูแฟคเจอร์ จำกัด		ส่งเล่มเรียบร้อยแล้ว
6	คุณ อัครเดช กระชันกิจ	บริษัท ไฟลไลน์ แมนูแฟคเจอร์ จำกัด		ส่งเล่มเรียบร้อยแล้ว
7	คุณ ศุภกิจ สงคศิริ	บริษัท ไฟลไลน์ แมนูแฟคเจอร์ จำกัด		
8	คุณ ขาวพงษ์ พูลพิพัฒน์นัท	บริษัท ยูนิ เซน โพล จำกัด		ส่งเล่มเรียบร้อยแล้ว
9	คุณ ศิริลักษณ์ ศิริ	บริษัท ยูนิ เซน โพล จำกัด		
10	คุณ รัฐนรินทร์ ธนสกุล	บริษัท เคมีคอล ไดนามิกส์ จำกัด		
11	คุณ ประไพ แจ่มสายบัว	บริษัท อควา นิธิยาร่า จำกัด		ส่งเล่มเรียบร้อยแล้ว
12	คุณ เอกชัย รัตมี	บริษัท หอพักเทศ จำกัด		ส่งเล่มเรียบร้อยแล้ว
13	คุณ พิเศษ บุญยสิริวัฒน์	บริษัท ลูฟท์เทค จำกัด		ส่งเล่มเรียบร้อยแล้ว
14	คุณ เกรียงศักดิ์ เกียรติอดุลย์	บริษัท เฮปต้า เอนไวรอนเมนทอน อีควิเบนด์ จำกัด		ส่งเล่มเรียบร้อยแล้ว
15	คุณ พิเชษฐ ตันติเสรี	บริษัท แพคโก แอคซิส จำกัด		ส่งเล่มเรียบร้อยแล้ว
16	คุณ วรชาติ เมืองสอน	บริษัท ริเวอร์ เอนจิเนียริง จำกัด		
17	คุณ ปองพล ภูมิวิเศษ	บริษัท ริเวอร์ เอนจิเนียริง จำกัด		
18	คุณ ภัทรพล ตูลารักษ์	กรมควบคุมมลพิษ		ส่งเล่มเรียบร้อยแล้ว
19	คุณ สุภาภมม เจริญจันทร์	กรมชลประทาน		

ผู้เข้าร่วมสัมมนาเชิงปฏิบัติการ
เรื่อง "ข้อกำหนดในการทดสอบเครื่องเดิมอากาศ ครั้งที่ 2"
วันอังคาร-พุธที่ 13 - 14 พฤษภาคม 2545
ณ ห้องลานชมพู อาคาร 81 ชั้น 4 คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ลำดับที่	ชื่อ - นามสกุล		หน่วยงาน	ลายมือชื่อ	หมายเหตุ
20	คุณ สุรินทร์	เพ็ญสุด	กรมชลประทาน		
21	คุณ พนมกร	ไทยสันติสุข	กรมชลประทาน		
22	คุณ วิชัย	หาญธรรมรงค์	กรมชลประทาน		
23	รศ. ชายู	ถนัดงาน	รองอธิการบดีวิจัยและประกันคุณภาพการศึกษา สจพ.		
24	คุณ มงคล	จงสุพรรณพงศ์	คณะพลังงานและวัสดุ มจร.		
25	คุณ สมภาพ	สนองราษฎร์	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มจร.		ส่งเล่มเขียวได้
26	อ. สุรียนต์	เทียมเพชร	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจพ.		
27	ผศ.ดร. อนุรักษ์	ปิติรักษกุล	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจพ.		
28	อ. วรรณกุล	บำรุงสาส์	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจพ.		
29	ดร. กางนี	นริศกรักษา	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจพ.		
30	ดร. มณฑิลา	แห่งทรัพย์เจริญ	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจพ.		
31	อ. สมร	นิริยุประดิษฐ์กุล	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจพ.		
32	ดร. พินิตนาฏ	จันทร์ภาพ	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจพ.		
33	ดร. จันทพร	ผลาการกุล	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจพ.		
34	อ. ทิราวุธ	พงษ์ประยูร	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจพ.		
35	อ. พิจิตร	เจียมวางกูร	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจพ.		

แนวทางการจัดทำการตรวจประเมิน เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม

ดร. ชรินทร์ ทองธรรมชาติ
ผู้อำนวยการสำนักจัดการคุณภาพน้ำ
กรมควบคุมมลพิษ



ผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม 20 ชนิด

ผลิตภัณฑ์การบำบัดมลพิษทางน้ำ

1. เครื่องเติมอากาศ
2. เครื่องกรองน้ำและตัวกลาง
3. เครื่องมือตรวจวัดคุณภาพน้ำ
4. ระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม
5. ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน
6. เครื่องสูบน้ำและตะกอน
7. อ่างกักมันต์



ผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม 20 ชนิด

ผลิตภัณฑ์การบำบัดมลพิษทางอากาศและเสียง

1. เครื่องกำจัดมลพิษทางอากาศแบบดูดกรอง
2. เครื่องระบายอากาศในโรงงานอุตสาหกรรม
3. ฉนวนป้องกันความร้อน
4. เครื่องมือตรวจวัดระดับเสียง
5. อุปกรณ์ป้องกันเสียงส่วนบุคคล



ผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม 20 ชนิด

ผลิตภัณฑ์ด้านการจัดการขยะมูลฝอย

1. ภาชนะสำหรับบรรจุมูลฝอย
2. รถเก็บขยะมูลฝอย
3. วัสดุปูพื้นสำหรับฝังกลบมูลฝอย
4. ภาชนะบรรจุวัตถุอันตรายและกากของเสียอันตราย
5. เตาเผาขยะมูลฝอยและกากของเสียอุตสาหกรรม



ผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม 20 ชนิด

ผลิตภัณฑ์ด้านอื่นๆ

1. Recycling packaging
2. อุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคล
3. สารเคมีที่ใช้ในการบำบัดและป้องกันมลพิษ

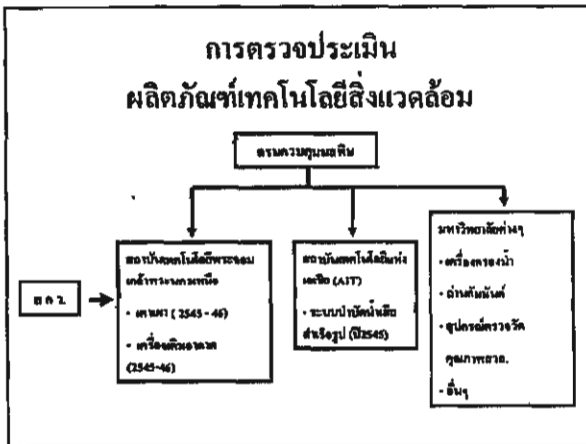


ผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ที่ผลิตขึ้นในประเทศ

ผลการสำรวจพบว่า

- ผู้ใช้มีความมั่นใจในคุณภาพและประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์
- ผู้ใช้ไม่ทราบว่าประเทศไทยผลิตสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ชนิดนั้นๆได้ และขายอยู่ในตลาด
- ร้อยละ 90 ของผู้ใช้งานมั่นใจในคุณภาพและประสิทธิภาพของสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในประเทศ หากได้รับการทดสอบและรับรองมาตรฐาน





ขั้นตอนการทดสอบสมรรถนะด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์
(Testing Protocol)

- ยังไม่มีขั้นตอนการทดสอบที่เป็นมาตรฐานและเป็นที่ยอมรับในประเทศไทย
- มาตรฐานการทดสอบของต่างประเทศ (JIS , US , Canada)

ประโยชน์ของการตรวจประเมินสมรรถนะด้าน สิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์

1. สินค้าผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมที่ผลิตในประเทศไทยได้รับการยอมรับจากผู้ใช้งานและหน่วยงานราชการมากขึ้น
2. ผู้ใช้มีข้อมูลด้านเทคนิคและสมรรถนะด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ทำให้สามารถเลือกใช้ได้อย่างถูกต้องตรงตามวัตถุประสงค์
3. เกิดการร่วมมือระหว่างภาครัฐ สถาบันการศึกษา และภาคเอกชน ผู้ผลิต ในการพัฒนาสินค้าให้ดีขึ้น
4. มีข้อมูลระดับการพัฒนาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมของประเทศ

สิ่งที่ต้องดำเนินการต่อไป

1. สร้างรูปแบบการบริหารจัดการสำหรับระบบการตรวจประเมินผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมระหว่างกรมควบคุมมลพิษ หน่วยงานทดสอบ / ตรวจประเมิน และผู้ผลิต
2. จัดทำ Verification Protocols สำหรับผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมประเภทต่างๆ โดยกระบวนการมีส่วนร่วมของผู้ผลิต มหาวิทยาลัย (นักวิชาการ) หน่วยงานราชการที่กำกับดูแล ภาคเอกชน
3. พัฒนาหน่วยงานตรวจประเมิน (Verification Organization)
4. พัฒนาหน่วยงานทดสอบผลิตภัณฑ์ (Testing Organization)

กิจกรรมของศูนย์วิจัยและทดสอบการเดินอากาศ

สถานที่ตั้ง

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานสนับสนุนการวิจัย(สกว.)

วัตถุประสงค์ของโครงการ

- รวบรวมข้อมูลการทดสอบเครื่องเดินอากาศชนิดต่างๆ เช่น เครื่องเดินอากาศแบบผิวน้ำ (surface aerator) เครื่องเดินอากาศแบบใต้ผิวน้ำ (submerged aerator) และ เครื่องเดินอากาศแบบพ่นกระจาย (air diffuser) เป็นต้น
- ออกแบบและจัดสร้างห้องทดสอบเครื่องเดินอากาศ ตามมาตรฐานการทดสอบ โดยใช้น้ำสะอาดเป็นตัวกลาง
- จัดทำเครื่องมือมาตรฐาน ในการตรวจวัดคุณภาพน้ำทดสอบ
- จัดทำเครื่องมือมาตรฐาน ในการตรวจวัดค่าอัตราการถ่ายเทออกซิเจนต่อกำลังงาน
- จัดตั้งศูนย์วิจัยและทดสอบการเดินอากาศ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้จากการจัดตั้งศูนย์

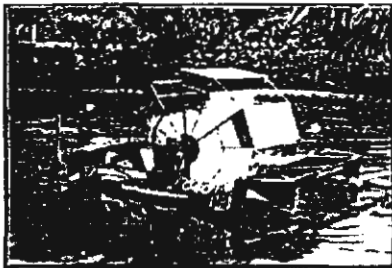
- ✓ มีเครื่องมือมาตรฐาน เพื่อใช้ในการทดสอบเครื่องเดินอากาศ
- ✓ มีข้อกำหนดที่ใช้ในการทดสอบเครื่องเดินอากาศ
- ✓ มีการวิจัยและพัฒนาเครื่องเดินอากาศประสิทธิภาพสูง
- ✓ มอบหมายให้ผู้ประกอบการ ผู้ใช้ หรือผู้สนใจ เข้าใจหลักการทำงานของเครื่องเดินอากาศและมอบหมายให้ผู้ผลิตสามารถทดสอบเครื่องเดินอากาศด้วยตัวเองได้
- ✓ รับปรึกษาและร่วมทำงานวิจัยกับผู้ประกอบการ ผู้ใช้ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการเดินอากาศในน้ำ

การจำแนกเครื่องเค็มอากาศ

เครื่องเค็มอากาศ สามารถจำแนกได้หลายวิธีแต่ในที่นี้จะจำแนกเป็น 3 ชนิด คือ

1. เครื่องเค็มอากาศผิวน้ำ
2. เครื่องเค็มอากาศใต้ผิวน้ำ
3. อื่นๆ

เครื่องเค็มอากาศผิวน้ำ



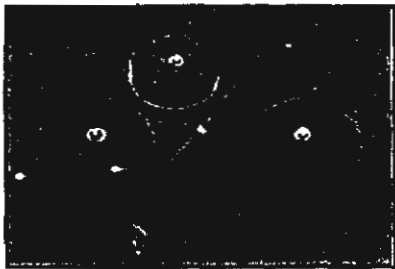
เครื่องเค็มอากาศผิวน้ำ



เครื่องเค็มอากาศใต้ผิวน้ำ



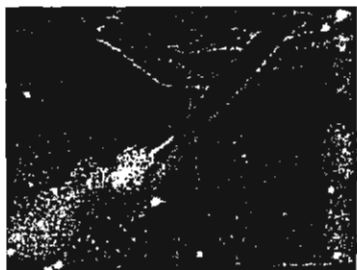
เครื่องเค็มอากาศใต้ผิวน้ำ



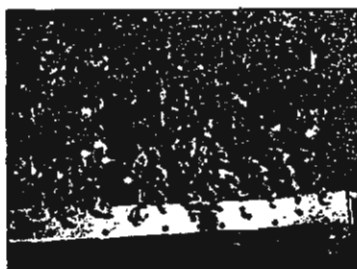
เครื่องเค็มอากาศใต้ผิวน้ำ



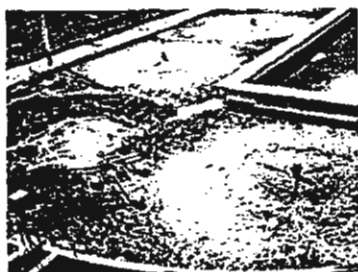
เครื่องเติมอากาศใต้ผิวน้ำ



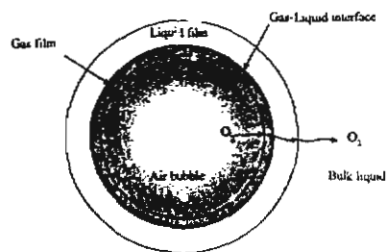
เครื่องเติมอากาศใต้ผิวน้ำ



บ่อเติมอากาศ

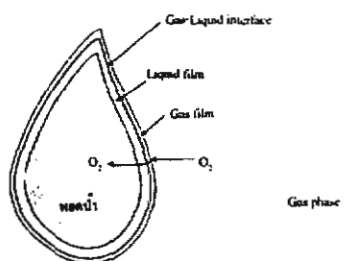


กลไกการถ่ายเทออกซิเจนจากฟองอากาศสู่ น้ำ



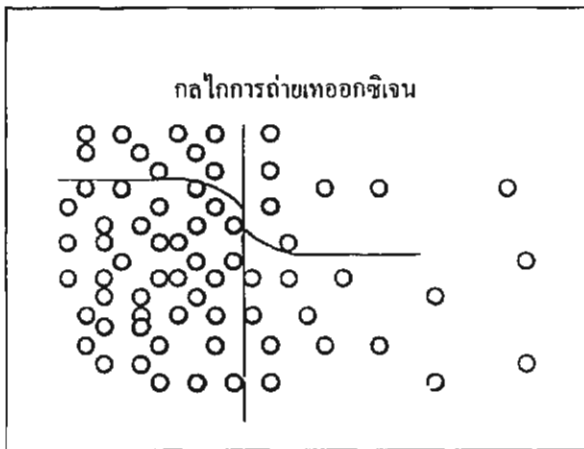
กลไกการถ่ายเทออกซิเจนจากฟองอากาศสู่ น้ำ

กลไกการถ่ายเทออกซิเจนจากอากาศสู่ หยดน้ำ



กลไกการถ่ายเทออกซิเจนจากอากาศสู่ หยดน้ำ

กลไกการเติมอากาศ



หลักการสำคัญในการออกแบบเครื่องเติมอากาศ

1. ต้องการพื้นที่สัมผัสระหว่างอากาศกับน้ำสูงสุด

เช่น ฟองอากาศเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 mm มีปริมาตร 65.45 mm^3 พื้นที่ผิว 78.54 mm^2 ถ้าฟองอากาศนี้ถูกทำให้เป็นฟองอากาศขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 mm ที่ปริมาตร 65.45 mm^3 จะได้ฟองอากาศจำนวน 125 ฟอง คิดเป็นพื้นที่ผิว 392.7 mm^2 หรือมีพื้นที่มากกว่าประมาณ 5 เท่าของฟองอากาศขนาด 5 mm

2. เวลาสัมผัสนาน

3. ใช้พลังงานต่ำ

การทดสอบเครื่องเติมอากาศ

✓ การทดสอบแบ่งตามชนิดของน้ำที่ใช้ทดสอบ

1. การทดสอบในน้ำสะอาด
2. การทดสอบในน้ำกระวนการ

✓ การทดสอบแบ่งตามการเพิ่ม/ลดออกซิเจน

1. Oxygenation
2. Deoxygenation

ข้อกำหนดการทดสอบเครื่องเติมอากาศในน้ำสะอาด

✓ หลักการทดสอบ

เติมโซเดียมซัลไฟท์ (Na_2SO_3) เพื่อลดออกซิเจนละลายให้ออกซิเจน
ศูนย์ จากนั้นจึงเริ่มเปิดเครื่องเติมอากาศ วัดอัตราการเพิ่มขึ้นของ
ออกซิเจนละลายที่เวลาต่างๆ และหาค่าความสัมพันธ์ ดังนี้

$K_L a$ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสาร

SOTR อัตราการถ่ายเทออกซิเจนที่สภาวะมาตรฐาน

SAE ประสิทธิภาพการเติมอากาศที่สภาวะมาตรฐาน

SOTE ประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนที่สภาวะมาตรฐาน

สภาวะในการทดสอบ

✓ ดังทดสอบต้องมีลักษณะเป็นแบบผสมกันอย่างสมบูรณ์ อาจเป็น
ถังที่มีพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม วงกลม หรือ วงรี และมีการจัดวางเครื่อง
เติมอากาศให้ใกล้เคียงกับการใช้งานจริง

✓ น้ำที่ใช้ทดสอบต้องมีคุณภาพใกล้เคียงกับน้ำประปา ควรมีอุณหภูมิในช่วง
19-30°C และ มีค่า TDS ไม่เกิน 2,000 mg/L หรือ conductivity ไม่เกิน 3,000 μS

✓ สภาวะอุณหภูมิมาตรฐานของน้ำทดสอบคือ 20°C ถ้าการทดสอบ
ทดสอบที่อุณหภูมิต่างจาก 20°C ให้ใช้ correction factor 1.024 ปรับค่า
การทดสอบแต่ละครั้งจึงอุณหภูมิ น้ำไม่ควรต่างกันเกิน 2°C และ ระดับน้ำ
ไม่ควรลดลงต่ำกว่า 1 cm ในการทดสอบเครื่องเติมอากาศผิวน้ำ

สภาวะในการทดสอบ (ต่อ)

✓ เครื่องมือวัดค่าออกซิเจนละลายต้องได้รับการสอบเทียบก่อน
ทดสอบ และควรมีเครื่องมือวัดออกซิเจนละลายอย่างน้อยหนึ่งตัวที่
ต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูลต่อเนื่อง

✓ เครื่องมือวัดอัตราการไหลของอากาศควรให้ความถูกต้อง $\pm 5\%$
และขณะทดสอบอัตราการไหลของอากาศไม่ควรเปลี่ยนแปลงเกิน 5%

✓ การวัดค่ากำลังส่งรวมและกำลังไฟฟ้ารวมขึ้นกับข้อตกลง

✓ ผลการทดสอบเครื่องเติมอากาศแสดงในเทอม

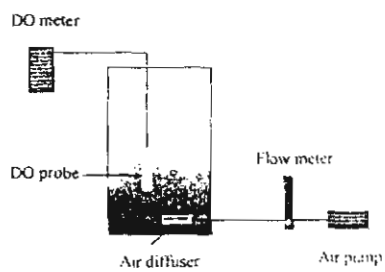
$\text{SAE}_w = \text{SOTR Wire Power Input}$

หรือ $\text{SAE}_p = \text{SOTR Delivered Power Input}$

หรือ $\text{SOTE} = \text{SOTR } W_{\text{air}}$

การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

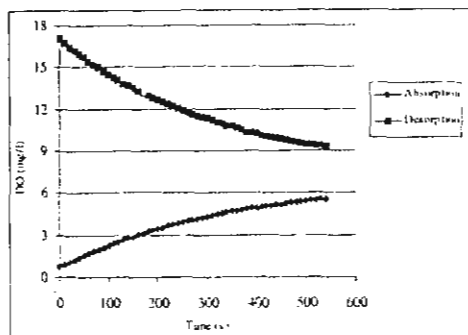
การทดลองในห้องปฏิบัติการ



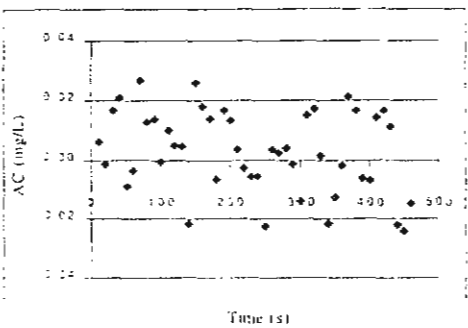
การทดสอบในโอแก๊ว



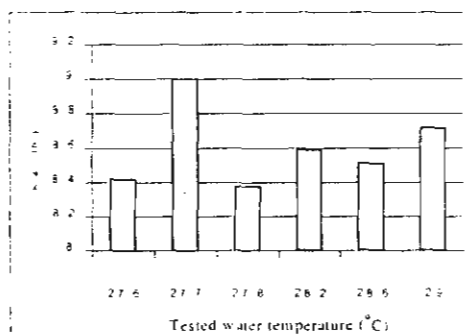
ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่าง absorption และ desorption



การเปรียบเทียบค่าจากการทดลองและโมเดล



ค่า K_{La} ที่อุณหภูมิที่ทดสอบต่างๆ



ค่า alpha และ beta ของน้ำเสียชุมชน

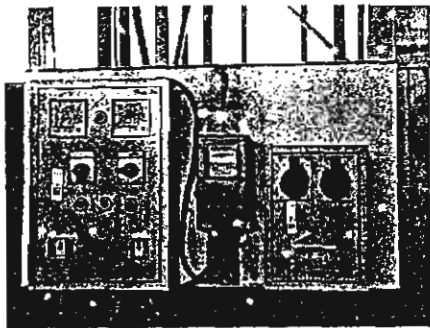
	clean water				process water					
	T	$K_{La_{20}}$	SOTE	mean	T	$K_{La_{20}}$	SOTE	alpha	TDS	beta
	(°C)	(h ⁻¹)	(%)	$K_{La_{20}}$	(°C)	(h ⁻¹)	(%)		(ppm)	
1	27.7	9.00	4.81	8.65	27.8	7.48	3.34	0.86	630	1.0
2	28.2	8.59	4.72		28.0	7.15	3.16	0.83	610	1.0
3	28.2	8.59	4.67		27.7	7.80	3.81	0.90	610	1.0
4	27.6	8.42	4.74		27.6	7.52	3.71	0.87	610	1.0

การทดสอบในถังทดสอบขนาด 1.5x2x5เมตร

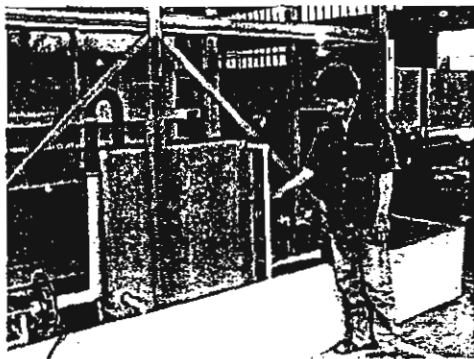
ถังเติมอากาศ 1.5x2x5 เมตร



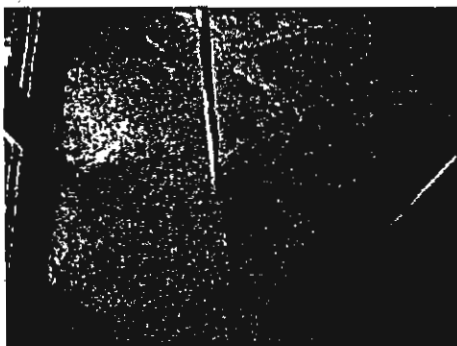
ตู้ไฟฟ้าควบคุมการทำงาน



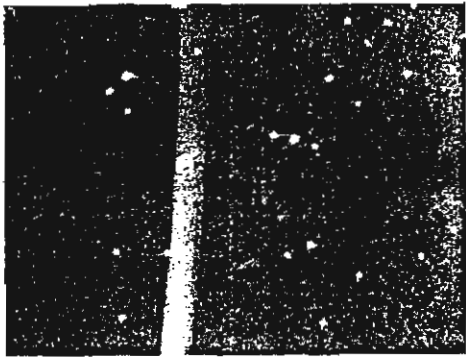
ดึงน้ำหล่อเย็นอากาศร้อนจากเครื่องเป่าลม



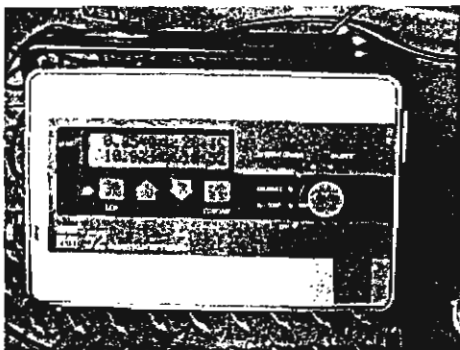
ภาพด้านบนถึงขณะทดสอบ



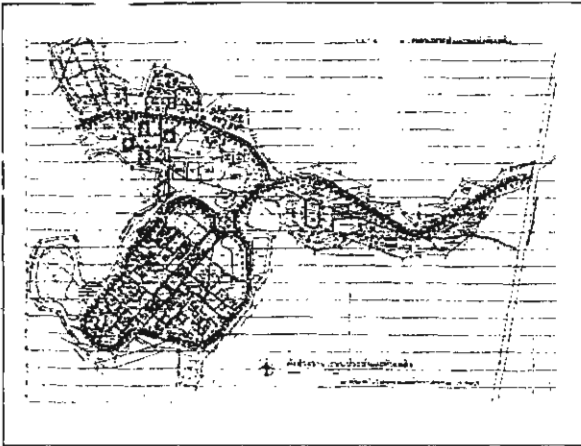
หัววัดออกซิเจนละลายที่ติดตั้งภายในถัง



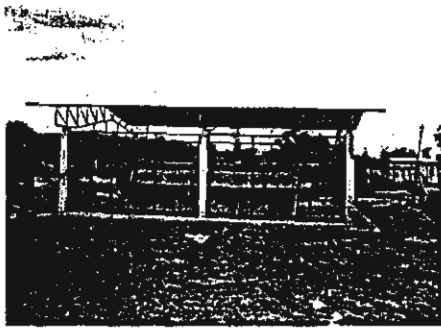
เครื่องวัดออกซิเจนละลาย



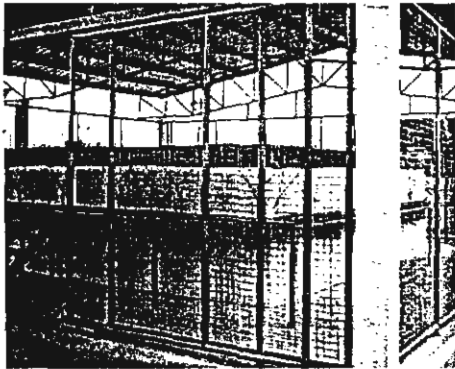
การก่อสร้างบ่อทดสอบขนาด 6x6x5 เมตร



บ่อทดสอบขนาด 6x6x5 เมตร ที่ สจท.ปราจีนบุรี



บ่อทดสอบขนาด 6x6x5 เมตร ที่ สจท.ปราจีนบุรี



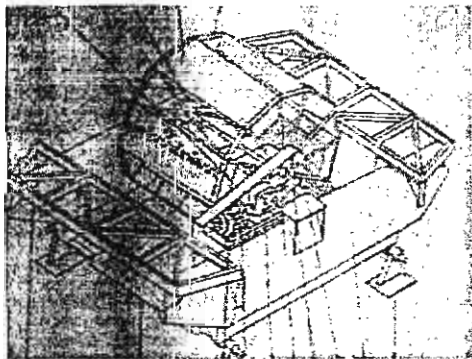
สรุป

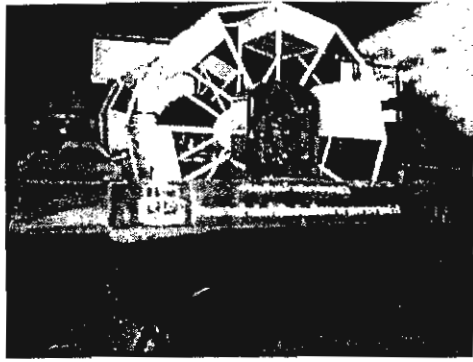
1. มีอุปกรณ์พร้อมวิธีการทดสอบเครื่องเดิมอากาศ
2. อยู่ระหว่างการค้าเงินการ จัดสร้างบ่อทดสอบขนาด 6x6x5 เมตร
3. ทดลองวัดประสิทธิภาพของเครื่องเดิมอากาศแบบ diffuser ในห้องปฏิบัติการ รวมทั้งการหาค่าแอลฟาและเบต้าเพื่าคำนวณน้ำเสียชุมชน และน้ำเสียจากโรงอาหาร
4. พร้อมรับทดสอบเครื่องเดิมอากาศ
5. รับฝึกอบรมให้กับบริษัทที่ต้องการทดสอบเครื่องเดิมอากาศ
6. พร้อมที่จะหาพันธมิตรในการวิจัยเครื่องเดิมอากาศประสิทธิภาพสูง
7. ได้จัดทำแผนในการทดสอบเครื่องเดิมอากาศ สรพ.
8. มองหาพันธมิตรในการจัดตั้งหน่วยทดสอบเครื่องเดิมอากาศ

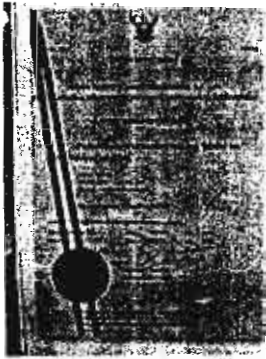
ขอบคุณ



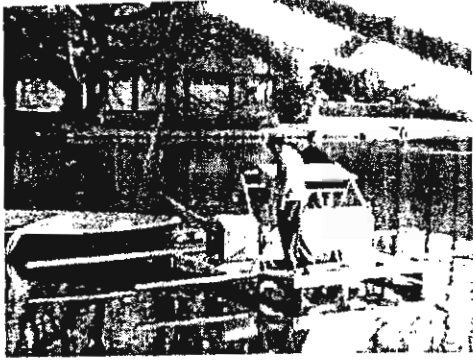
กังหันน้ำชัยพัฒนา RX-2















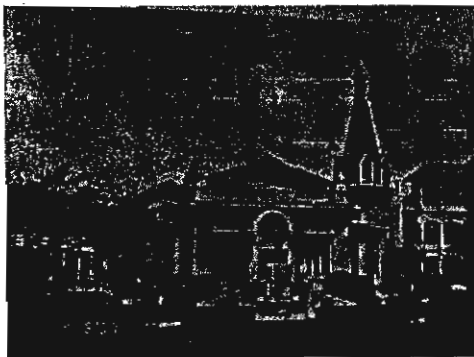


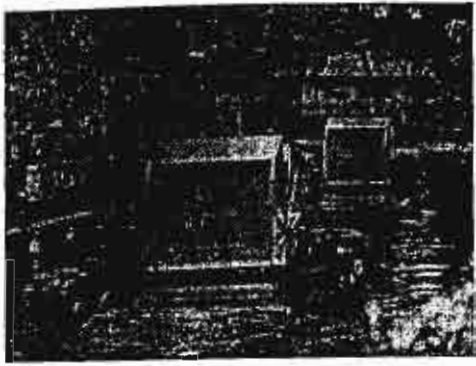


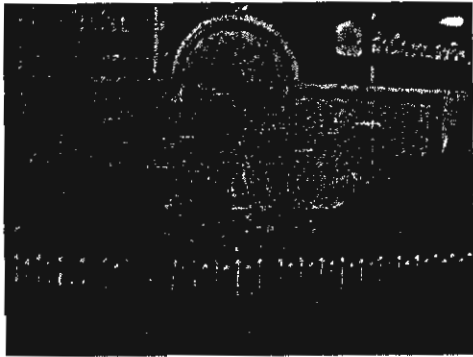


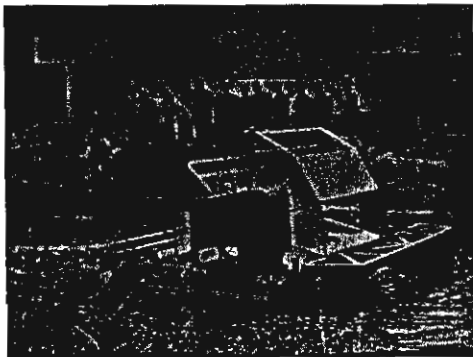


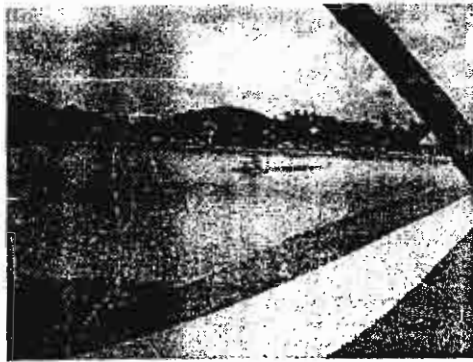


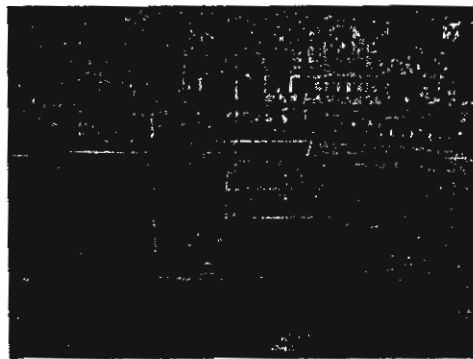


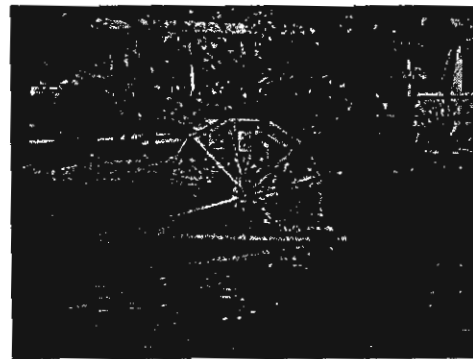




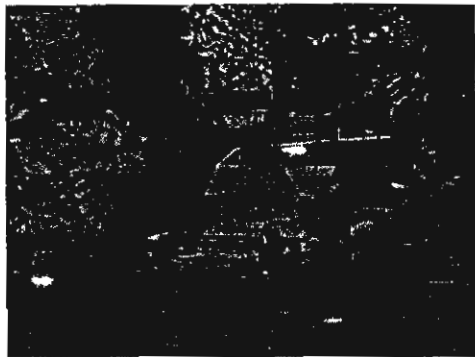


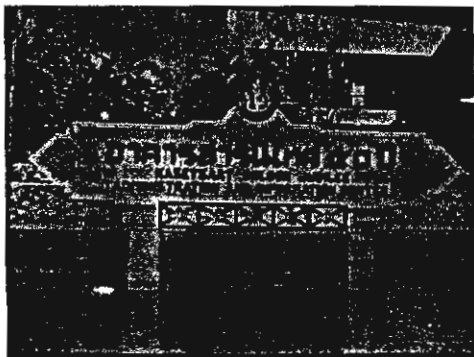






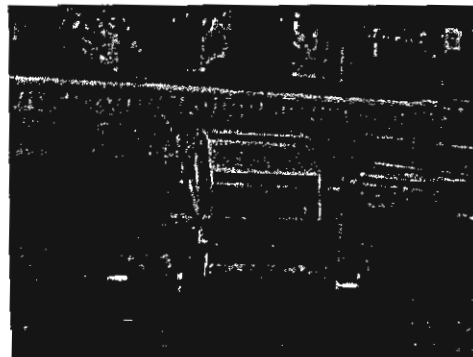


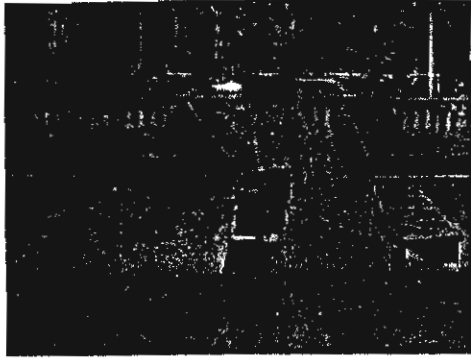






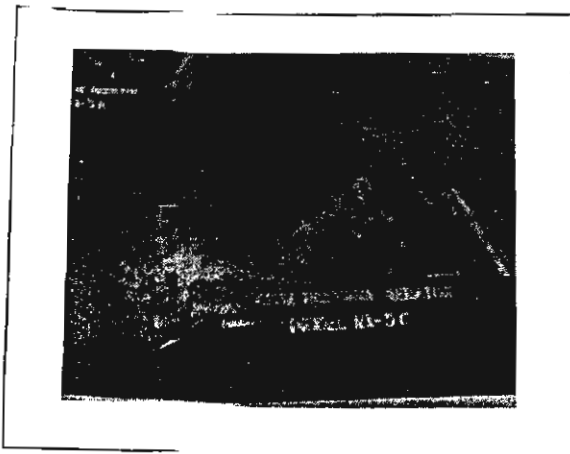


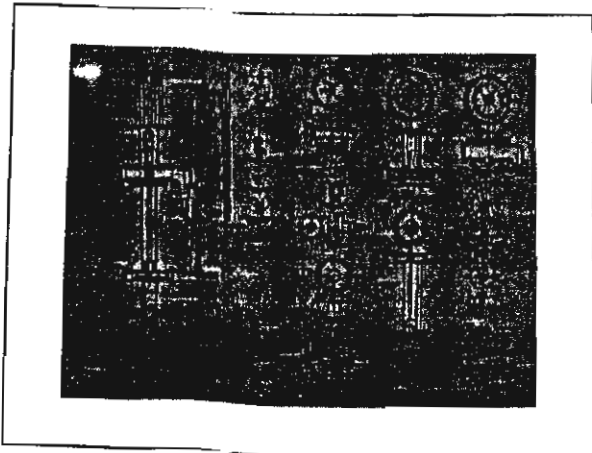


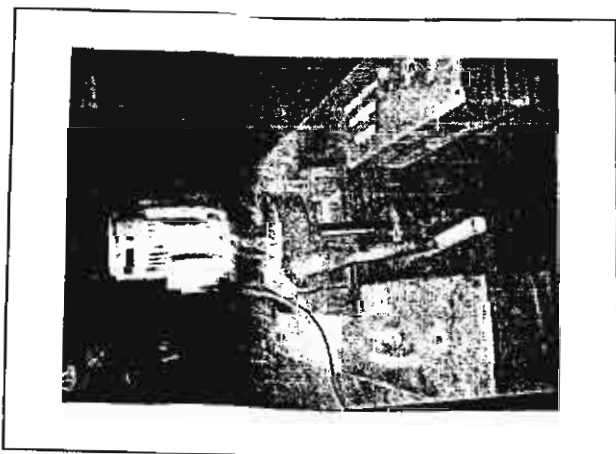


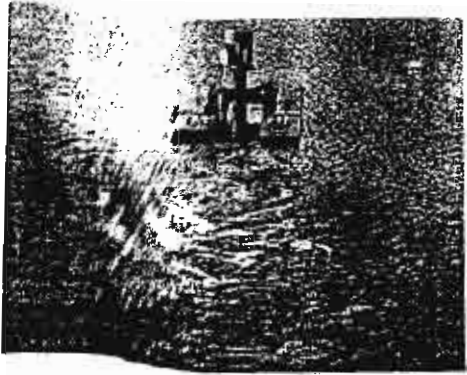
เครื่องกลเติมอากาศแบบอัดอากาศและดูดน้ำ
RX-5C



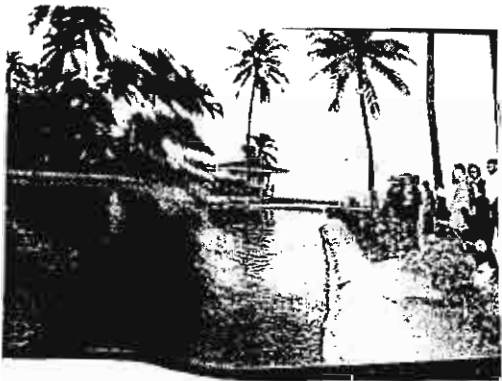






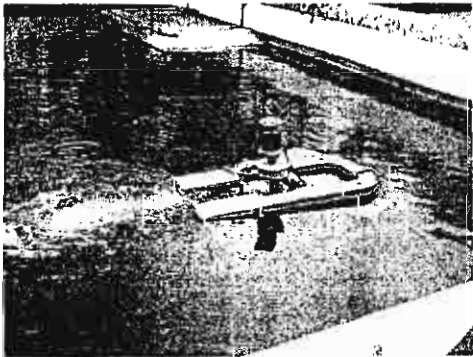




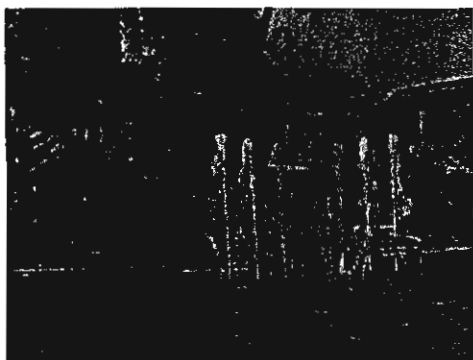






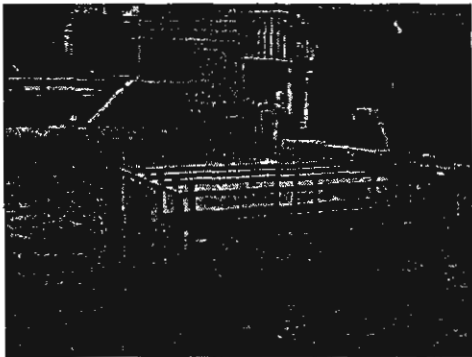


น้ำพุชัยพัฒนา

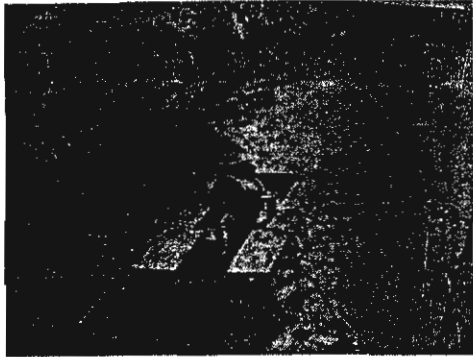




ชุดจับเกาะจุลินทรีย์



AIR JET



การใช้เครื่องกลเติมอากาศ
ร่วมกับ
ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยพืช

ผลการประชุมกลุ่มย่อย กลุ่มที่ 1

หน้า 3

- ในส่วนของกระบวนการ (3) และ (4) ไม่ชัดเจนถ้าไม่ได้อ่านภาคผนวก ก. ควรมีการเรียบเรียงใหม่ให้ชัดเจนขึ้น

ตอบ พิจารณาเพิ่มข้อความที่เชื่อมโยงไปถึงภาคผนวก ก

หน้า 6

- ตารางที่ 2.2.5 ไม่ชัดเจน ทุกครั้งในการทดสอบกับทุกครั้งในชุดการทดสอบเหมือนกันหรือไม่ ? หรือพิมพ์ผิด (แก้ไขหรือชี้แจงให้ชัดเจน)

ตอบ เป็นข้อความที่ถูกต้องแล้ว ทุกครั้งในการทดสอบ ก็ต้องวัดหลายๆการทดลอง แต่ทุกครั้งในชุดการทดสอบ คือวัดค่าก่อน/หลังในวันที่ทำการทดสอบซึ่งอาจมีจำนวนการทดลองที่ทำใน 1 วันมากกว่า 1 การทดลอง

หน้า 7

- 2.2.10 ในทางปฏิบัติเป็นไปได้ยาก โปรดตรวจสอบมาตรฐานอีกครั้ง (1 ซม.? ในระหว่างการทดสอบ)

ตอบ ในทางปฏิบัติการตรวจสอบระยะความสูงของระดับน้ำสามารถดูจาก scale ติดข้างถัง ซึ่งไม่ยากในการตรวจวัด แต่ในการทดสอบเครื่องเดิมอากาศปัจจัยที่ทำให้ระดับน้ำลดลงอาจเกิดจากสาเหตุหลักๆ ดังนี้ คือ มีจุดรั่วไหลของน้ำจากถัง มีการกระเด็นของน้ำออกไปจากถังในระหว่างทดสอบ และมีการระเหยของน้ำระหว่างการทดสอบ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ย่อมส่งผลให้การประเมินประสิทธิภาพเครื่องเดิมอากาศผิดพลาดได้ แต่ทั้งนี้และทั้งนั้นในรายงานผลควรระบุถึงระดับน้ำที่ลดลงไปเพื่อประโยชน์ในการอภิปรายรับรองการตรวจประเมิน อย่างไรก็ตามในที่ประชุมได้มีการพูดคุยถึงการกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำที่สูญหาย ซึ่งพบว่าจะเกิดปัญหาเรื่องปริมาณน้ำเริ่มต้นที่ยังไม่ทราบแน่นอน และยังไม่มีย่อสรุปที่ชัดเจน ดังนั้นเพื่อให้ข้อกำหนดนี้ตรงกับมาตรฐานสากลจึงขอกำหนดตามร่างมาตรฐานเดิมก่อน และคิดว่าคงจะมีการปรับปรุงในโอกาสหน้าเมื่อหน่วยทดสอบมีประสบการณ์ที่มากพอ

หน้า 10

- โปรดตรวจสอบช่วง 2.0 – 250 % อีกครั้ง

ตอบ เป็นข้อความที่ถูกต้องแล้ว เนื่องจากการเดิมสารเคมีมากหรือน้อยขึ้นกับการเตรียมงานก่อนการเก็บข้อมูล ถ้าผู้เก็บข้อมูลไม่มีความชำนาญพอ หรือถ้าเครื่องเดิมอากาศมีประสิทธิภาพสูงมากๆ ควรเพิ่มปริมาณร้อยละสารเคมีมากเกินไป

- ช่วงอุณหภูมิของน้ำ 10 – 35°C

ตอบ ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 10 – 30°C โดยใช้แฟกเตอร์ θ เท่ากับ 1.024 ตามมาตรฐานสากล ถ้าการทดลองมีอุณหภูมิเกิน 30°C ให้เลือกวันที่มีสถานะในการทดลองใหม่ต่ำกว่า 30°C หรือให้รายงานผลของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในรายงาน

- มีการทดสอบค่า θ จริงหรือไม่ ? (1.024 or?)

- หัวข้อ 2.1.2 (หน้า 5) ควรมีการชี้แจงเพิ่มเติมในรายละเอียดมากขึ้น ในส่วนของปริมาตร, รูปร่าง, ชนิดของ aerator ฯลฯ

- การบำบัดน้ำหลังจากการทดสอบ (แนวทางหรือข้อเสนอแนะ)

ตอบ สามารถใช้ anion exchange resin ในการกำจัดซัลเฟต

หน้า 17

- ประโยคแรกควรมีการแก้ไขให้ชัดเจน “จุดวัดค่าควรอยู่ห่างจาก.....อย่างต่ำ 0.5 เมตร และไม่ อยู่ใกล้ผิว

น้ำเกินกว่า 10% ของค่ามิติที่สั้นที่สุดของถัง คำว่า “ค่ามิติ” ไม่ชัดเจน อธิบาย?

ตอบ คำว่ามิติในที่นี้ คือ ความยาวตามแกน x, y, z เช่นถังขนาด 1.5x2x4 เมตร มิติที่สั้นที่สุด คือ 1.5 เมตร

หน้า 18

- ไม่ควรบังคับวิธีวิเคราะห์ข้อมูลเจาะจงเกี่ยวกับภาษาของโปรแกรม (Fortrans กับ Basic ควรตัดทิ้ง)

ตอบ ในร่างมาตรฐานไม่ได้บังคับว่าต้องใช้ Fortrans หรือ Basic เท่านั้น แต่ในร่างมาตรฐานหน้า 19 ยังคงสามารถใช้โปรแกรมอื่นๆที่สามารถคำนวณค่าได้ครับ

ผลการประชุมกลุ่มย่อย กลุ่ม 2

1. วิธีการทดลองโดยย่อ

- มีข้อสงสัยใดบ้างเกี่ยวกับการวิเคราะห์ข้อมูลในรูปแบบสมการถดถอยแบบเชิงเส้นหรือแบบไม่เชิงเส้น

***วิธีการที่จะตรวจสอบที่จะวัดผลให้ได้ค่าจริงอย่างไร มี condition และสถานะถูกต้องหรือไม่

* ขนาดบ่อรวมถึงความลึก

* ขนาดของเครื่องเติมอากาศ

* ชนิดของเครื่องเติมอากาศ (อาจรวมหรือไม่รวม blower + diffuser หรือเครื่องเติมอากาศแบบอื่น

ๆ)

* การวัดแบบต่อเนื่องหรือแบบไม่ต่อเนื่อง

* ผลที่ได้ขึ้นอยู่กับว่าแบบใดจะให้ผลค่า oxygen transfer สูงกว่า

*** การวิเคราะห์แบบสมการถดถอยแบบเชิงเส้นเป็นแบบที่ให้ oxygen transfer ที่สูงกว่าแบบไม่เชิงเส้น

*** โดยส่วนใหญ่เราจะเน้นค่าตัวเลขที่สูงกว่าเป็นเกณฑ์จึงสรุปให้ใช้แบบสมการถดถอยเชิงเส้น

ตอบ ในที่ประชุมได้ตกลงว่าให้รายงานผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งสองรูปแบบคือ สมการถดถอยแบบเชิงเส้น และแบบไม่เชิงเส้นแต่ต้องรายงานค่า residues ด้วย ถ้าค่า residues มีการกระจายตัวที่ไม่ดีควรตัดค่า K_{La} นั้นทิ้ง โดยรายงานเฉพาะค่า K_{La} ที่ให้ค่า residues ที่มีการกระจายตัวดี

2. เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

- เครื่องเติมอากาศในแต่ละแบบควรทดสอบด้วยถังทดสอบลักษณะไหน

*** ให้แยกชนิดของเครื่องเติมอากาศให้ชัดเจนอีกครั้ง แล้วมาพิจารณาชนิดของถังอีกครั้ง เนื่องจากบางชนิดของเครื่องเติมอากาศใช้ถังเหลี่ยม บางชนิดใช้ถังกลม บางชนิดใช้ความลึก น้อยกว่า 3 เมตร บางชนิดต้องใช้ความลึกมากกว่า หรือเท่ากัน

ตอบ ในการจำแนกเครื่องเติมอากาศนั้นสามารถจำแนกได้หลายวิธี ในที่ประชุมยังไม่สามารถหาข้อสรุปที่แน่นอนได้ ซึ่งคิดว่าในอนาคตจะต้องมีการจัดการประชุมเพิ่มเติมในเรื่องนี้ อย่างไรก็ตามในข้อกำหนดนั้นบ่งบอกเพียงกว้างๆ ซึ่งการเรียกชื่อเครื่องเติมอากาศหรือชนิดเครื่องเติมอากาศสามารถตกลงกันระหว่างผู้ทดสอบ ผู้ให้ทดสอบ และหน่วยงานกลาง

- มีความคิดเห็นอย่างไรเกี่ยวกับน้ำทดสอบตามมาตรฐานที่กล่าวไว้ในคู่มือ

*** จากการทดสอบในห้อง Lab น้ำประปา มี conductivity 326 uS/cm คาดว่าต่างจังหวัด ที่ปราจีนบุรี น่าจะมีค่ามากกว่า คงไม่ถึง 900 uS/cm (ตามเกณฑ์ WHO น้ำสำหรับอุปโภคไม่เกิน 900 uS/cm) หากน้ำทดสอบต่างจังหวัดเมื่อเติม Na_2SO_3 แล้วเกินจะใช้ Na_2SO_3 เป็นตัววัดไม่ได้

- ควรแบ่งประเภทเครื่องเติมอากาศเพิ่มเติมหรือไม่

*** สมควรอย่างยิ่ง อาทิเช่น ประเภทที่ใช้มอเตอร์ และประเภทที่ไม่ใช้มอเตอร์ขับโดยตรง

*** ให้ระบุตามความลึก เช่น ระบุสำหรับความลึกช่วง 1 เมตร ระบุสำหรับความลึกช่วง 1 – 3 เมตร ระบุสำหรับความลึกช่วงไม่มากกว่า 6 เมตร

ตอบ ตอบแล้วในข้างต้น

- ในการวัดค่าออกซิเจนละลายจำเป็นต้องมีเครื่องตรวจวัดผลแบบต่อเนื่องหรือไม่

*** สมควร แต่ต้องแก้ไขจาก เครื่อง เป็น การ เนื่องจากเป็นการวัด ณ ที่อุณหภูมิและแวดล้อมเดียวกัน

ตอบ ในร่างมาตรฐาน หน้า 9 ได้ใช้คำว่า “การ” อยู่แล้วครับ

- ในการตรวจวัดค่าออกซิเจนละลายจำเป็นต้องมีเครื่องวัดละเอียดในระดับ +/- 0.05 mg/l หรือไม่

*** เห็นด้วย

ตอบ จะรักษาคำหนดนี้ในมาตรฐาน อย่างไรก็ตามในกลุ่ม 3 มีข้อเสนอเรื่องเครื่องวัด DO ละเอียดในระดับ +/- 0.10 mg/l

- ระบบปั๊มช่วยในการผสมผสานสารเคมีในถังทดสอบมีความเหมาะสมหรือไม่

*** ไม่สมควร เนื่องจากปั๊มจะมีการผสมของอากาศเข้าไป

*** ควรเปลี่ยนเป็น submersible mixer หรือ side mixer แทน

*** หรือเติมสารเคมีให้ over dose ก่อนเมื่อเปิดเครื่องเติมอากาศจะทำให้เกิดการ well mix

ตอบ ในรายงานจะมีการรายงานถึงการเพิ่มเติมเครื่องผสมหรือปั๊ม ในสภาวะว่ามีการเปิดใช้หรือไม่และติดตั้งที่ใดของบ่อทดสอบ

- ข้อมูลคุณสมบัติของบรรยากาศในบริเวณสถานที่ทดสอบจากการสอบถามหน่วยงานตรวจวัดมีความน่าเชื่อถือเพียงพอหรือไม่

*** ไม่น่าเชื่อถือ ควรวัดเอง ณ ที่หน่วยวิเคราะห์ เนื่องจาก ค่า RH, Humidity และ temperature ต่างกันแน่นอน

ตอบ พิจารณาคัดข้อความในหน้า 12 ที่ โดยคุณสมบัติอากาศควรมีการตรวจสอบเอง

ผลการประชุมกลุ่มย่อย กลุ่ม 3

1. การวิเคราะห์ข้อมูลในรูปแบบของสมการถดถอยแบบเชิงเส้น (และ/หรือ) แบบไม่เชิงเส้น

ตอบ ตอบแล้วในข้างต้น

2. กำหนด parameter เช่น กำลังของ เครื่อง-ปริมาตรของน้ำทดลอง สำหรับการทดสอบ (จุดที่วัด)

ตอบ ขนาดบ่อ ขนาดเครื่อง ปริมาตรน้ำทดสอบ ตำแหน่งการติดตั้งหัววัดทั้งหมด รวมทั้งแบบในการติดตั้ง เครื่องเดิมอากาศจะต้องเขียนในรายงานครับ

3. น่าจะกำหนดคุณภาพของน้ำทดสอบซึ่งเทียบได้กับน้ำประปาให้มีความชัดเจน เช่น

- ความขุ่น ≤ 5 NTU

ตอบ การกำหนดคุณภาพน้ำทดสอบนั้นได้แสดงไว้อย่างกว้างๆ แต่ถ้าผู้ทดสอบ ผู้ให้ทดสอบ และหน่วยงาน กลาง มีความเห็นตรงกันในการกำหนดคุณภาพน้ำทดสอบให้มีการตกลงเป็นกรณีไป และต้องรายงานผลด้วย ครับ

4. การตรวจวัด DO จำเป็นต้องมีการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง โดยเฉพาะอุปกรณ์ที่มี eff. ต่ำมาก และน่าจะใช้เวลาเป็นค่าอ้างอิง

ตอบ เป็นข้อเสนอ

5. Accn ของเครื่องมือวัดค่า DO ที่ ± 0.05 ppm น่าจะสามารถยอมรับได้ / ในความเป็นจริง ± 0.1 ppm. น่าจะเพียงพอ

ตอบ เป็นข้อเสนอที่แย้งกับกลุ่มที่ 1

6. ข้อมูลคุณสมบัติของบรรยากาศน่าจะตรวจวัดเองโดยติดตั้งเครื่องมือที่จุดทดสอบ

ตอบ เป็นข้อเสนอ

7. ในเรื่องของภาษาคำว่า และ (and) หรือ (or) ✓

ตอบ ตอบแล้วในข้างต้น

8. กำหนด กำลังเครื่อง / ขนาดบ่อ เนื่องจากเครื่องใหญ่ / บ่อเล็ก อาจให้ผลที่ไม่ตรง

ตอบ ตอบแล้วในข้างต้น

9. เติมมาตรฐานน้ำประปาในข้อกำหนดด้วย

ตอบ ตอบแล้วในข้างต้น

10. เครื่องตรวจวัด DO แบบต่อเนื่องถ้าทำได้

ตอบ ตอบแล้วในข้างต้น

11. ความละเอียดในระดับ ± 0.1 mg/l น่าจะเพียงพอ

ตอบ ตอบแล้วในข้างต้น

12. ควรตรวจวัดคุณสมบัติของบรรยากาศ ณ จุดทดสอบด้วย

ตอบ ตอบแล้วในข้างต้น

ข้อคิดเห็นเพิ่มเติม

- ควรกำหนดจุดวัด DO เป็นระยะห่างจากจุดปล่อยของอากาศ หรือจุดอ้างอิงของเครื่อง
- รายงานการทดสอบน่าจะระบุรายละเอียดชนิดของอุปกรณ์ รุ่น ขนาดต่าง ๆ ดังเช่นฉลากฯ ในเครื่องปรับอากาศ
- รายงานการทดสอบน่าจะรายงานตำแหน่งติดตั้งหัว Probe อย่างชัดเจน
- รายงานควรรายงานเป็น 2 ส่วน คือ
 1. ส่วนคำกล่าวอ้าง (สรุปข้อมูลรายละเอียดเครื่อง)
 2. รายงานการทดสอบ (รายงานรายละเอียดทั้งหมด) ควรใช้หน่วยเหมือน ๆ กัน เพื่อให้ผู้อ่าน (ผู้ใช้) เปรียบเทียบได้โดยง่าย

แบบสอบถาม

1. ท่านคิดว่าได้ประโยชน์จากการสัมมนาในวันนี้อย่างไร ?

- วันที่ 13 ได้ประโยชน์มาก มีความเข้าใจวิธีการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศอย่างไร การได้ชมห้อง Lab ทำให้มีความน่าเชื่อถือในผลการทดสอบ

- วันที่ 14 ได้ทราบปัญหา และแนวทางที่ชัดเจนขึ้น

- ได้มีความรู้เกี่ยวกับการทดสอบ การหาค่าโคบอลต์ การตรวจค่าความเข้มข้นของของแข็งละลาย การตรวจวัดค่า Conductivity

- ช่วยให้ทราบถึงวิธีการทดลองของการเติมอากาศในน้ำชนิดต่าง ๆ

- ทราบวิธีการทดลอง คำนวณผลการทดลองและข้อกำหนดต่าง ๆ

- ทำให้มีความรู้ในด้านนี้เพิ่มมากขึ้น และมีประโยชน์ในการนำไปใช้ในการทำงานต่อไป

- ทำให้ได้ความรู้เพิ่มมากขึ้นและเห็นความสำคัญของการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในการทดลอง

- ช่วยให้เกิดการระดมความคิดในเรื่องการจัดตั้งมาตรฐานการทดสอบเครื่องเติมอากาศ ที่เป็นที่ยอมรับตามมาตรฐาน

สากล

- ได้ระบบการทดสอบที่เหมาะสมกับสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย

- ช่วยให้มีความรู้มาตรฐานของผู้ผลิตและแนวทางการเลือกของผู้บริโภค

2. ท่านคิดว่าได้รับประโยชน์จากการบรรยาย และการชมการทดลองต่าง ๆ อย่างไร ?

- วันที่ 13 ได้เนื้อหาจากการบรรยาย และได้รับทราบปัญหาในการปฏิบัติงานของบริการอื่น ๆ ในห้อง Lab ได้เห็นเครื่องมือ ทำให้มีความมั่นใจในการตรวจสอบ

- วันที่ 14 ได้ประโยชน์จากการอธิบายและการทดลอง

- เพิ่มความรู้และประสบการณ์มากขึ้น

- ช่วยให้ทราบถึงวิธีการทดลองของการเติมอากาศในน้ำชนิดต่าง ๆ

- ทราบขั้นตอนการปฏิบัติ เพื่อจะนำไปตั้งทีมทดลองของบริษัท

- มีความรู้เพิ่มเติมจากที่มีอยู่ และได้รู้จักเครื่องมือเพิ่มขึ้น

- สามารถมีมุมมองและมองเห็นเป็นรูปธรรมมากขึ้นในการที่จะทดลองจริง ผลจากการทดลองสามารถคำนวณได้ใกล้เคียงกับทฤษฎี ทำให้เกิดความมั่นใจขึ้นว่าสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้จริง

เคียงกับทฤษฎี ทำให้เกิดความมั่นใจขึ้นว่าสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้จริง

- ช่วยทำให้เข้าใจกระบวนการวัดและเงื่อนไขในการวัด

- สามารถวิเคราะห์ผลของการวัดได้

- ช่วยให้ทราบแนวทางของการลงทุนในเรื่องของอุปกรณ์การวัดที่จะจัดหามาใช้งานเอง

3. ท่านคิดว่าได้รับประโยชน์จากการสัมมนากลุ่มย่อยอย่างไร ?

- วันที่ 13 ได้ข้อสรุป แนวทางการกำหนด เงื่อนไขการตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องเดิมอากาศ ได้ทราบว่า มี เครื่องเดิมอากาศวิธีใหม่ ๆ หลายชนิด
- วันที่ 14 ชัดเจนขึ้น
- ได้ทราบความคิดเห็นของแต่ละบุคคล รวมทั้งความเข้าใจในภาษาแตกต่างกันไป
- มีประโยชน์ในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น
- ได้ทราบความคิดเห็นที่แตกต่างจากคนอื่น และบางข้อความแต่ละคนเข้าใจไม่เหมือนกัน เพื่อให้มีความเข้าใจตรงกัน เพื่อประโยชน์ในอนาคต

- ทำให้ทราบความคิดเห็นแต่ละมุมมอง และได้แลกเปลี่ยนประสบการณ์ที่ได้พบมา ทำให้มีความรู้ความเข้าใจมากขึ้น
- ได้แลกเปลี่ยนความรู้เนื่องจากแต่ละคนมาจากหน่วยงานที่ต่างกัน จากประสบการณ์ของแต่ละคนที่ได้ร่วมแสดงความคิดเห็นในเรื่องต่าง ๆ ทำให้มีแนวคิดที่แตกต่างออกไปจากเดิม มีมุมมองในด้านอื่น ๆ เพิ่มขึ้น
- ทำให้ทราบถึงมุมมองเรื่องการยอมรับมาตรฐานของแต่ละกลุ่มธุรกิจ
- ทำให้มีการระดมความคิดและจุดยอมรับของแต่ละกลุ่มธุรกิจ
- มีการแลกเปลี่ยนความรู้เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ของเครื่องเดิมอากาศ

4. ท่านคิดว่ากรณีหน่วยงานวิจัยและทดสอบการเดิมอากาศจะช่วยธุรกิจท่านอย่างไร ?

- ช่วย Verify และให้คำแนะนำในการปรับปรุงเครื่องเดิมอากาศของบริษัท ให้ความมั่นใจผู้ออกแบบงานว่าเครื่องเดิมอากาศจะทำงานใน Condition ได้จริง
- ลดความได้เปรียบในเชิงธุรกิจ เนื่องจากการทดสอบในมาตรฐานเดียวกัน ทำให้สินค้าขายได้ราคาดีขึ้น
- ช่วยพัฒนาและสร้างความเชื่อถือของผู้ใช้และผู้ที่จะใช้
- สามารถทำให้เราทราบถึงประสิทธิภาพของสินค้า
- เพื่อให้สินค้าในท้องตลาดมีมาตรฐาน จากศูนย์การทดสอบเดียวกัน
- ทำให้สามารถทราบประสิทธิภาพที่แน่นอนของเครื่องเดิมอากาศที่ทางบริษัทผลิตได้ดีขึ้น และสามารถนำไปใช้อ้างอิงได้อย่างเต็มภาคภูมิ

- สามารถใช้อ้างอิงกับหน่วยงานอื่น ๆ ได้ว่าเครื่องเดิมอากาศได้ผ่านการตรวจสอบแล้วตามมาตรฐาน
- ช่วยในการกำหนดแนวทางการ set up อุปกรณ์การตรวจวัดตลอดจนเงื่อนไขต่าง ๆ ที่มาตรฐานสากลยอมรับ
- มีการเรียนรู้ทฤษฎีของระบบการเดิมอากาศเพิ่มขึ้นมาก

5. ข้อเสนอแนะ

- การกำหนดขนาดของบ่อ test กับประเภทของเครื่องเดิมอากาศน่าจะใช้ค่า Mixing control เป็นตัวกำหนดได้ ซึ่งค่านี้จะ เป็นค่าที่อ้างอิงมาจากหนังสือ เพื่อการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย เช่น ใช้ลม 8 – 10 m³/min / vol.1000 m³ เป็นต้น

ทำเนียบรุ่นการสัมมนาเชิงปฏิบัติการ
เรื่อง “ข้อกำหนดในการทดสอบเครื่องเติมอากาศ ครั้งที่ 2”

1.  ชื่อ – สกุล พิจิตร เจียมวรวงศ์ ที่ทำงาน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจพ. ที่อยู่ 1518 บางซื่อ กทม. 10800 โทรศัพท์ (02) 9132500-24 ต่อ 8620 โทรสาร -	2.  ชื่อ – สกุล สุมิตร อั้นแดง ที่ทำงาน บจก. โฟลไลน์ แมนูแฟคเจอร์ริง ที่อยู่ 43/3-4 ซ.เพชรเกษม 41 ม.3 ต.เพชรเกษม บางแค กทม. 10160 โทรศัพท์ (02)454-8161-3, (02)801-1980 โทรสาร (02)-454-8164	3.  ชื่อ – สกุล นเรศ ฤทธิไกร ที่ทำงาน บจก. โฟลไลน์ แมนูแฟคเจอร์ริง ที่อยู่ 43/3-4 ซ.เพชรเกษม 41 ม.3 ต.เพชรเกษม บางแค กทม. 10160 โทรศัพท์ (02)454-8161-3, (02)801-1980 โทรสาร (02)-454-8164
4.  ชื่อ – สกุล ไพโรจน์ ดังจิตต์ภราดร ที่ทำงาน บจก. โฟลไลน์ แมนูแฟคเจอร์ริง ที่อยู่ 43/3-4 ซ.เพชรเกษม 41 ม.3 ต.เพชรเกษม บางแค กทม. 10160 โทรศัพท์ (02)454-8161-3, (02)801-1980 โทรสาร (02)454-8164	5.  ชื่อ – สกุล ปิยะ พานิชปฐม ที่ทำงาน บจก. อินнокซ์ อินเตอร์ ที่อยู่ 25/5/11 หมู่ 6 ต.ตลาดขวัญ อ.เมือง จ.นนทบุรี 11000 โทรศัพท์ (02) 718-6128 โทรสาร (02) 454-8164	6.  ชื่อ – สกุล มงคล จงสุพรรณพงศ์ ที่ทำงาน คณะพลังงานและวัสดุ มจร. ที่อยู่ 91 ถ.ประชาธิปไตย แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กทม. 10140 โทรศัพท์ (06) 016-3614 โทรสาร

7.



ชื่อ - สกุล แจ่ม สุนศักดิ์
 ที่ทำงาน บริษัท ซีเล (ไทยแลนด์) จำกัด
 ที่อยู่ 279/29 ถ.สุทธิสารวินิจฉัย แขวง
 สามเสนนอก ห้วยขวาง กทม. 10320
 โทรศัพท์ (02) 274-8675-80
 โทรสาร (02) 274-7495

8.



ชื่อ - สกุล วิชัย หาญธรรมรงค์
 ที่ทำงาน กรมชลประทาน
 ที่อยู่ อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 11120
 โทรศัพท์ (09) 914-9545
 โทรสาร (02) 584-3763

9.



ชื่อ - สกุล ประไพ แจ่มสายบัว
 ที่ทำงาน บจก. อควานิซาร่า คอร์ปอเรชั่น
 ที่อยู่ 99/167-9 ถ.เทศบาลสงเคราะห์ แขวง
 ตลาดยาว เขตจตุจักร กทม. 10900
 โทรศัพท์ (02) 589-9717
 โทรสาร (02) 580-2356-7

10.



ชื่อ - สกุล จรินทร์ คงจุติ
 ที่ทำงาน บจก. อควานิซาร่า คอร์ปอเรชั่น
 ที่อยู่ 99/167-9 ถ.เทศบาลสงเคราะห์ แขวง
 ตลาดยาว เขตจตุจักร กทม. 10900
 โทรศัพท์ (02) 589-9717
 โทรสาร (02) 580-2356-7

11.



ชื่อ - สกุล สุขเกษม เจริญจันทร์
 ที่ทำงาน กรมชลประทาน
 ที่อยู่ อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 11120
 โทรศัพท์ (02) 962-3612
 โทรสาร (02) 962-3612

12.



ชื่อ - สกุล พนมกร ไทยสันติสุข
 ที่ทำงาน กรมชลประทาน
 ที่อยู่ อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 11120
 โทรศัพท์ (02) 584-3763
 โทรสาร (02) 584-3763

19.



ชื่อ – สกฤต ศรีสมร สิทธิกาญจนกุล
 ที่ทำงาน กรมชลประทาน
 ที่อยู่ อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 11120
 โทรศัพท์ (02) 584-2055
 โทรสาร (02) 583-5011

20.



ชื่อ – สกฤต สุนันทา เพ็ญสุด
 ที่ทำงาน กรมชลประทาน
 ที่อยู่ อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 11120
 โทรศัพท์ (02) 584-2055
 โทรสาร (02) 583-5011

21.



ชื่อ – สกฤต ชาญพงษ์ พูลพิพัฒน์
 ที่ทำงาน บริษัท ยูนิ แชน โพล จำกัด
 ที่อยู่ 49/108-110 หมู่บ้านกฤติกร ถ.นาค
 นิवास แขวงลาดพร้าว เขตลาดพร้าว กทม.
 10230
 โทรศัพท์ (02) 454-8161-3, (02) 801-1980
 โทรสาร (02)-454-8164

13.



ชื่อ - สกฤต สักดิ์ชัย สุริยจันทร์ทอง
ที่ทำงาน ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
มจร.

ที่อยู่ 91 ถ.ประชาอุทิศ บางมด กรุงเทพฯ
กทม. 10140

โทรศัพท์ (02) 971-6925-7

โทรสาร (02) 522-2270

14.



ชื่อ - สกฤต สมภพ สอนองราษฎร์
ที่ทำงาน ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
มจร.

ที่อยู่ 91 ถ.ประชาอุทิศ แขวงบางมด
เขตทุ่งครุ กทม. 10140

โทรศัพท์ (02) 971-6925-7

โทรสาร (02) 522-2270

15.



ชื่อ - สกฤต พิเชษฐ ดันดิเสรี
ที่ทำงาน บจก. แพคโก แอคซิส
ที่อยู่ 30/10 ม. 4 ถ.สวไร่ประชาราษฎร์ ต.

ลาดสวาย อ.ลำลูกกา จ.ปทุมธานี 12150

โทรศัพท์ (02) 533-2777-9, 994-4326-7

โทรสาร (02) 994-4328, 533-2399

16.



ชื่อ - สกฤต เกียรติศักดิ์ เกียรติอัครกุล
ที่ทำงาน บจก. เฮปต้า เอนไวรอนเมนทอน
อิกวิปเมนต์

ที่อยู่ 36/20 ซอยลาดปลาเค้า แขวงอนุสาวรีย์
เขตบางเขน กทม. 10220

โทรศัพท์ (02) 971-6925-7

โทรสาร (02) 522-2270

17.



ชื่อ - สกฤต เอกชัย รัชมี
ที่ทำงาน บจก. ทอเพค
ที่อยู่ 7 หมู่ 8 ถ.ประชาร่วมใจ แขวงคลอง
ทรายดินใต้ เขตสามวา กทม. 10510

โทรศัพท์ (02)-718-6128

โทรสาร (02)-454-8164

18.



ชื่อ - สกฤต อัครเดช กระชั้นกิจ
ที่ทำงาน บจก. โพลไลน์ แมนูแฟคเจอร์ริง
ที่อยู่ 43/3-4 ซ.เพชรเกษม 41 ม.3

ต.เพชรเกษม บางแค กทม. 10160

โทรศัพท์ (02)454-8161-3, (02)801-1980

โทรสาร (02)-454-8164