บทที่ 1
บทนำ

1.1 ชื่อวิทยานิพนธ์

ภาษาไทย : การวิเคราะห์อุปกรณ์เติมอากาศชนิดท่อยืดหยุ่นจากของเสียประเภทยาง ในกระบวนการเติมอากาศ

ภาษาอังกฤษ : Analysis of flexible aeration diffuser tube from rubber waste in aeration process

1.2 คำสำคัญ

กระบวนการเติมอากาศ	(Aeration process)
อุปกรณ์เติมอากาศชนิดท่อยืดหยุ่น	(Flexible aeration diffuser tube)
ปรากฏการณ์การเกิดฟอง	(Bubble generation phenomena)
การถ่ายเทออกซิเจน	(Oxygen transfer)
ของเสียประเภทยาง	(Rubber waste)

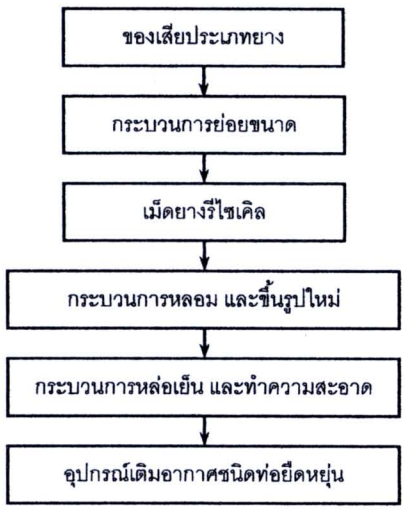
1.3 ที่มา และความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากยางมีคุณสมบัติความยืดหยุ่น (Elasticity) ความเหนียว (Toughness) ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) ความทนทานต่อการฉีดขาด (Tear Strength) และความทนทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) เป็นวัสดุที่ทนทานต่อแรงดึง และแรงกดทับได้ดี มีความสามารถคืนรูปได้จึงนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น ยางรถยนต์ ส่วนประกอบในยานพาหนะ ฉนวนหุ้มสายไฟ ท่อยาง ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ และภาชนะหีบห่ออาหาร เป็นต้น ทำให้ปริมาณของเสียประเภทยางเพิ่มมากขึ้น และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามจำนวนประชากร

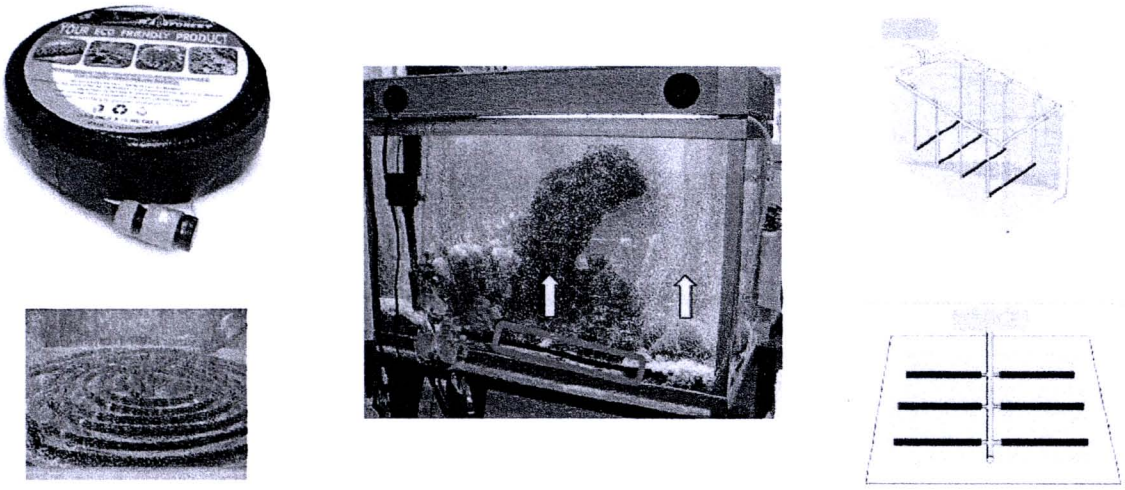
ปัจจุบันการกำจัดของเสียประเภทยางในประเทศไทยมีหลายวิธี เช่น การทิ้งในที่โล่ง (Dumping) แต่มีข้อเสียคือ อาจเป็นแหล่งเพาะพันธุ์สัตว์พาหะนำโรค เสี่ยงต่อการเกิดเพลิงไหม้ และทำให้ทัศนียภาพไม่สวยงาม การฝังกลบ (Landfill disposal) จัดเป็นแนวทางหนึ่งที่มีการประยุกต์ใช้ในปัจจุบันแต่มีข้อเสียคือสิ้นเปลืองพื้นที่หลุมฝังกลบเพราะของเสียประเภทยางย่อยสลายตามธรรมชาติได้ยากเนื่องจากการปรับปรุงสมบัติทางเคมี นอกจากนั้นการนำไปเผา (Incineration) หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาของโรงปูนซีเมนต์ซึ่งเป็นวิธีที่ดีทำให้ได้พลังงานมาใช้ประโยชน์ และสามารถลดปริมาณของเสียได้รวดเร็ว แต่จำเป็นต้องมีการควบคุมมลพิษอากาศที่ดีด้วย และบางกรณีการนำไปเผาทำให้สูญเสียทรัพยากรโดยไม่จำเป็น เนื่องจากของเสียประเภทยางยังไม่สูญเสียคุณสมบัติของยางซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้ เพราะฉะนั้นการนำของเสียกลับไปใช้ใหม่ (Reuse) และการรีไซเคิล (Recycle) จึงเป็นวิธีที่ควรคำนึงถึงเป็นอันดับแรกเพื่อลดปริมาณของเสียที่ต้องกำจัด และเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า

การนำของเสียประเภทยางมารีไซเคิลเพื่อผลิตเป็นท่อยืดหยุ่นสำหรับใช้ในกระบวนการเติมอากาศเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยลดปริมาณของเสียที่ต้องกำจัด และส่งเสริมการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่ามากขึ้น

เนื่องจากกระบวนการรีไซเคิลดังกล่าวสามารถทำได้ในประเทศไทย ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถใช้งานได้หลากหลาย เช่น ใช้ในกระบวนการเติมอากาศเพื่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ใช้ในกระบวนการเติมอากาศเพื่อบำบัดน้ำเสีย และใช้กระจายน้ำเพื่อรดน้ำต้นไม้ในการเกษตร หรืองานตกแต่งสวน เป็นต้น อีกทั้งต้นทุนในการรีไซเคิลไม่สูงทำให้สามารถทดแทนอุปกรณ์เติมอากาศที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งมีราคาแพงได้



รูปที่ 1.1 แผนผังแสดงกระบวนการรีไซเคิลของเสียประเภทยาง และผลิตเป็นอุปกรณ์เติมอากาศชนิดท่อยืดหยุ่น



รูปที่ 1.2 ภาพแสดงผลิตภัณฑ์อุปกรณ์เติมอากาศชนิดท่อยืดหยุ่นจากการรีไซเคิลของเสียประเภทยาง และการใช้งานในกระบวนการเติมอากาศ

กระบวนการเติมอากาศ (Aeration process) คือ กระบวนการถ่ายเทออกซิเจนจากสถานะก๊าซไปสู่สถานะของเหลวเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายในของเหลวหรือน้ำให้สูงขึ้น แต่เนื่องจากความสามารถในการละลาย (Solubility) ของออกซิเจนต่ำทำให้ปริมาณการถ่ายเทออกซิเจนสู่น้ำต่ำไปด้วย พื้นที่สัมผัสจำเพาะ (Interfacial area) ระหว่างผิวอากาศกับน้ำตามปกติจึงไม่ทำให้เกิดการถ่ายเทออกซิเจนที่เพียงพอกับความต้องการของสัตว์น้ำซึ่งใช้ออกซิเจนในการหายใจ หรือการใช้ออกซิเจนของจุลชีพในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ เพื่อให้ได้ปริมาณออกซิเจนเพียงพอต่อความต้องการจึงจำเป็นต้องเพิ่มอัตราการถ่ายเทออกซิเจน (Oxygen transfer rate) โดยการลดขนาดฟองอากาศ เพิ่มความถี่ของการเกิดฟองอากาศเพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัส และควบคุมอัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการเติมอากาศให้เหมาะสม เพื่อควบคุมความเร็วลอยตัวของฟองอากาศให้มีเวลาสัมผัสกับน้ำนานขึ้น และป้องกันการปั่นป่วนของพื้นที่สัมผัสซึ่งจะรบกวนการถ่ายเทออกซิเจน เนื่องจากอุปกรณ์เติมอากาศชนิดท่อยืดหยุ่นซึ่งผลิตมาจากการรีไซเคิลของเสียประเภทยางมีสมบัติความพรุน และความยืดหยุ่นที่ดีซึ่งทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กได้ จึงมีความเป็นไปได้ที่จะประยุกต์ใช้ในกระบวนการเติมอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตาม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการเติมอากาศ และปรับปรุงสมบัติของท่อยืดหยุ่นให้เหมาะแก่การใช้ในกระบวนการเติมอากาศมากยิ่งขึ้น จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเรื่องสมบัติของท่อยืดหยุ่นที่เหมาะสมสำหรับการใช้ในกระบวนการเติมอากาศ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน (k_La) ตัวแปรทางอุทกพลศาสตร์ของฟองอากาศ (Bubble hydrodynamic parameters) ประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลสาร (Aeration performance parameters) ความดันขณะเติมอากาศ (Pressure, P) พลังงานที่จำเป็น (Energy consumption) การจัดเรียงท่อยืดหยุ่นในถังเติมอากาศ ผลกระทบจากของแข็งแขวนลอย ของแข็งละลาย และของแข็งแขวนลอยในรูปของเซลล์จุลชีพ (Mixed Liquor Suspended Solids, MLSS) ต่อค่าสัมประสิทธิ์ k_La การอุดตันของท่อยืดหยุ่นจากการหยุดเติมอากาศ และวิธีการทำความสะอาด เนื่องจากปัญหาหลักจากการใช้อุปกรณ์เติมอากาศชนิดท่อยืดหยุ่นในกระบวนการเติมอากาศเป็นเวลานานคือ การอุดตันที่ผิวและการตกตะกอนสะสมในช่องว่างของท่อยืดหยุ่น ค่าความดันลดเพิ่มขึ้น ฟองอากาศมีขนาดใหญ่ขึ้น และการเกิดฟองอากาศไม่สม่ำเสมอตลอดความยาวของท่อยืดหยุ่น ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนลดลง และสิ้นเปลืองพลังงานในการเดินระบบ (Rosso และคณะ, 2008) นอกจากนั้นการอุดตันของท่อยืดหยุ่นยังทำให้สมบัติของท่อยืดหยุ่นเปลี่ยนแปลง ความแข็งของท่อยืดหยุ่นเพิ่มมากขึ้น ค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus) เปลี่ยนแปลง ช่องเปิดของท่อยืดหยุ่นขยายขนาดและฟองอากาศมีขนาดใหญ่ขึ้น จึงส่งผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนลดลงได้เช่นกัน (Kaliman และคณะ, 2008)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงมีความสนใจประยุกต์ใช้ท่อยืดหยุ่นในกระบวนการเติมอากาศซึ่งเป็นกระบวนการที่ต้องใช้พลังงานมาก สมบัติของท่อยืดหยุ่นที่เหมาะสม ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน ตัวแปรทางอุทกพลศาสตร์ของฟองอากาศ ประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลสาร การศึกษาความดันลดและพลังงานที่จำเป็น การจัดเรียงท่อยืดหยุ่นในถังเติมอากาศ ผลกระทบจากสารปนเปื้อนในน้ำต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน การอุดตันของท่อยืดหยุ่นจากการหยุดเติมอากาศ และวิธีทำความสะอาด จึงเป็นประเด็นหลักที่ควรศึกษาในงานวิจัยนี้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ประหยัดพลังงานในการเติมอากาศ เข้าใจผลกระทบจากการใช้งานในสภาวะต่างๆ และการบำรุงรักษาเพื่อรักษาอายุการใช้งานให้ยาวนาน นอกจากนั้น การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมเพื่อทำนายค่าสัมประสิทธิ์การ

ถ่ายเทออกซิเจนก็เป็นเรื่องหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากความยุ่งยากจากการวิเคราะห์ในด้านการเตรียมอุปกรณ์ การใช้สารเคมีและระยะเวลาสำหรับการวิเคราะห์ การทำนายค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจนจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยอำนวยความสะดวก และสามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นประกอบการออกแบบกระบวนการเติมอากาศได้

1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.4.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์เติมอากาศชนิดท่อยืดหยุ่น ซึ่งผลิตมาจากการรีไซเคิลของเสียประเภทยาง

1.4.2 เพื่อศึกษาผลกระทบจากสภาวะการทำงานซึ่งประกอบด้วย ของแข็งแขวนลอย หรือของแข็งละลายต่อประสิทธิภาพการทำงาน และการอุดตันของอุปกรณ์เติมอากาศชนิดท่อยืดหยุ่น

1.4.3 เพื่อศึกษาวิธีทำความสะอาดที่เหมาะสมสำหรับอุปกรณ์เติมอากาศชนิดท่อยืดหยุ่น

1.4.4 เพื่อศึกษารูปแบบการจัดเรียงอุปกรณ์เติมอากาศชนิดท่อยืดหยุ่นที่เหมาะสมในถังเติมอากาศ

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของอุปกรณ์เติมอากาศชนิดท่อยืดหยุ่นซึ่งผลิตมาจากการรีไซเคิลของเสียประเภทยาง สมบัติของอุปกรณ์เติมอากาศชนิดท่อยืดหยุ่นที่สนใจศึกษา ได้แก่

1.) ความหนาผนังท่อ วิเคราะห์โดยเวอร์เนีย ไมโครมิเตอร์ (Vernier micrometer)

2.) ความทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) วิเคราะห์โดยการทดสอบแรงดึง (Tension Test)

3.) ความแข็ง (Hardness) วิเคราะห์โดยเครื่องวัดความแข็งของยาง (Durometer)

4.) ความยืด (Elongation) วิเคราะห์โดยการทดสอบแรงดึง (Tension Test)

1.5.2 ศึกษาประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลสาร (Aeration performance parameters) ของอุปกรณ์เติมอากาศชนิดท่อยืดหยุ่นในระดับห้องปฏิบัติการ ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานกับอุปกรณ์เติมอากาศชนิดอื่นๆ ตัวแปรที่สนใจศึกษา ได้แก่

1.) ค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทออกซิเจน ($k_L a$)

2.) ค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทออกซิเจนที่สภาวะมาตรฐาน ($k_L a_{20}$)

3.) พื้นที่สัมผัสจำเพาะระหว่างอากาศ และน้ำ (a)

4.) อัตราการถ่ายเทออกซิเจนมาตรฐาน (SOTR)

5.) ประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนมาตรฐาน (SOTE)

6.) ความดันขณะเติมอากาศ (P)

1.5.3 ศึกษาผลกระทบจากสภาวะการทำงานซึ่งประกอบด้วย ของแข็งแขวนลอย ของแข็งละลายหรือของแข็งแขวนลอยในรูปของเซลล์จุลชีพ (Mixed liquor suspended solids: MLSS) ต่อประสิทธิภาพการเติมอากาศ และการอุดตันของอุปกรณ์เติมอากาศชนิดท่อยืดหยุ่น โดยใช้ดินขาว (Kaolin) ปรับความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอย ใช้เกลือ (NaCl) ปรับความเข้มข้นของ

ของแข็งละลาย เลี้ยงเซลล์จุลชีพที่ความเข้มข้นต่างๆ และวิเคราะห์การอุดตันด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning Electron Microscope : SEM)

สภาวะการทำงานที่สนใจศึกษา ได้แก่

1.) สภาวะที่มีของแข็งแขวนลอย โดยใช้ดินขาวความเข้มข้น 0 50 100 และ 200 มก./ลิตร

2.) สภาวะที่มีของแข็งละลาย โดยใช้เกลือความเข้มข้น 0 7,500 20,000 และ 35,000 มก./ลิตร

3.) สภาวะที่มีเซลล์จุลชีพ โดยเลี้ยงเซลล์จุลชีพที่ความเข้มข้น 0 1,000 2,000 และ 3,000 มก./ลิตร

หลังจากนั้นศึกษาการอุดตันในสภาวะการทำงานต่างๆที่ความเข้มข้นมากที่สุด เนื่องจากอาจก่อให้เกิดการอุดตันได้ง่าย และมีผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทออกซิเจนมากที่สุด โดยแช่ไว้เป็นระยะเวลา 8 72 168 และ 240 ชั่วโมง

1.5.4 ศึกษาแนวทางการใช้งานเรื่องรูปแบบการจัดเรียงอุปกรณ์เติมอากาศชนิดท่อยืดหยุ่นที่เหมาะสมในถังเติมอากาศ และการบำรุงรักษาที่เหมาะสมของอุปกรณ์เติมอากาศชนิดท่อยืดหยุ่น วิธีการทำความสะอาดที่สนใจศึกษา ได้แก่

1.) การขัดถู

2.) เป่าด้วยแรงดันสูงประมาณ 3 บาร์ (300 กิโลปาสคาล หรือ 43.51 ปอนด์/ตร.นิ้ว)

3.) สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaOCl) ความเข้มข้นร้อยละ 3 โดยมวลต่อปริมาตร

4.) สารละลายกรดซิตริก ($C_6H_8O_7$) ความเข้มข้นร้อยละ 3 โดยมวลต่อปริมาตร

หลังจากทำความสะอาดแล้ว นำตัวอย่างอุปกรณ์เติมอากาศชนิดท่อยืดหยุ่นวิเคราะห์การอุดตันด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน และหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน

1.5.5 ศึกษาการทำนายค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจนโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อพิจารณาเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมโดยเปรียบเทียบความแม่นยำระหว่างผลทำนายกับผลวิเคราะห์ซึ่งคาดหวังไม่ให้เกิดความคลาดเคลื่อนมากกว่าร้อยละ 20

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถประยุกต์ใช้อุปกรณ์เติมอากาศชนิดท่อยืดหยุ่นซึ่งผลิตมาจากการรีไซเคิลของเสียประเภทยาง ในกระบวนการเติมอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ และใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย

1.6.2 สามารถปรับปรุงสมบัติของอุปกรณ์เติมอากาศชนิดท่อยืดหยุ่นให้เหมาะแก่การใช้ในกระบวนการเติมอากาศได้

1.6.3 สามารถออกแบบวิธีการใช้งานอุปกรณ์เติมอากาศชนิดท่อยืดหยุ่นในกระบวนการเติมอากาศและวิธีบำรุงรักษาที่เหมาะสมได้เพื่อรักษาอายุการใช้งานให้ยาวนาน

1.6.4 สามารถทำนายค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจนโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม เพื่อบรรเทาความยุ่งยากจากการวิเคราะห์และใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นประกอบการออกแบบกระบวนการเติมอากาศได้