สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับช่วยคำนวณออกแบบกระบวนการบำบัดน้ำเสีย

นายศิริวัฒน์ เกตุแก้ว
นายสรนาฐ ฤกษ์พิสุทธิ์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 42395
วัน, เดือน, ปี 20 พ.ค. 2545

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Computer Program Calculation for the Designing of Wastewater Treatments

Mr.Siriwat Ketkaew

Mr.Soranat Rerkpisut

A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Bachelor of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

King Mongkut 's Institute of Technology Ladkrabang

2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับช่วยคำนวณออกแบบกระบวนการบำบัดน้ำเสีย

โดย นายศิริวัฒน์ เกตุแก้ว
นายสรนาฐ ฤกษ์พิสุทธิ์
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

_____ ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์)

_____ กรรมการ
(อาจารย์บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์)

_____ กรรมการ
(อาจารย์รื่นฤดี เบญจางคประเสริฐ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับช่วยคำนวณออกแบบกระบวนการบำบัดน้ำเสีย
โดย นายศิริวัฒน์ เกตุแก้ว
นายสรนาฐ ฤกษ์พิสุทธิ์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์
ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการตะกอนเร่งเป็นการบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้กัน โดยอาศัยจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ซึ่งโครงงานนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมการออกแบบในถังปฏิกรณ์แบบต่างๆ ของกระบวนการตะกอนเร่ง โดยการเขียนโปรแกรมคำนวณด้วยภาษา Delphi ซึ่งโปรแกรมทำการหาค่าเวลาต่ำสุดและปริมาตรของถังปฏิกรณ์ที่ทำให้น้ำทิ้งมีค่า Substrate ตามที่กำหนดไว้ โดยใช้หลักการของระเบียบวิธีเชิงตัวเลข ซึ่งผลที่ได้สามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title A Computer Program Calculation for the Designing of Wastewater Treatments

By Mr.Siriwat Ketkaew
Mr.Soranat Rerkpisut
Advisor Asst.Prof.Dr. Paisal Nakpipat

Report for Bachelor Degree of Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut 's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

Activated sludge is famous wastewater treatment which uses endogenous for the digestion of organic substance process in wastewater. The project is objected to develop the reactor design as provide the activated sludge process by Delphi program.

This program is for calculate minimun time and reactor volume to provide specific substrate. The solution from numerical method is used to build the wastewater treatment system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือจากคณาจารย์และบุคลากรหลายฝ่ายซึ่งคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง คือ

ผศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ผู้ที่ให้คำปรึกษาและแนวทาง ทั้งยังช่วยตรวจสอบความถูกต้องของปริญญานิพนธ์ ทำให้โครงงานนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

อาจารย์โจโกะ เทเรซ่า อิโต้ ผู้ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆในการค้นคว้า รวมทั้งหนังสือต่างๆ ที่ให้ยืมมาค้นคว้า

ท้ายที่สุดนี้ คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้สนับสนุนการศึกษาตลอด 4 ปีที่ผ่านมา รวมทั้งความห่วงใยและกำลังใจในการทำโครงงานนี้ ตลอดจนพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจและความช่วยเหลือ ปริญญานิพนธ์นี้จึงสามารถสำเร็จไปได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญรูป	ฌ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 ทฤษฎีจลนพลศาสตร์ของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีววิทยา	4
2.2 ประเภทของถังปฏิกิริยาสำหรับการบำบัดน้ำเสีย	14
2.2.1 ถังปฏิกิริยาแบบแบทช์	14
2.2.2 ถังปฏิกิริยาแบบถังกวนต่อเนื่อง	17
2.2.3 ถังปฏิกิริยาแบบปลั๊กโฟลว์	22
2.2.4 ถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่องที่วางเรียงกันแบบอนุกรม	27
2.2.5 ถังปฏิกิริยาแบบอาร์บีซี	29
2.3 ระบบเติมอากาศ	32
2.4 ถังตกตะกอน	33
บทที่ 3 แผนภูมิและขั้นตอนการเขียนโปรแกรม	34
3.1 ถังปฏิกิริยาแบบแบทช์	34
3.2 ถังปฏิกิริยาแบบถังกวนต่อเนื่อง	35
3.3 ถังปฏิกิริยาแบบปลั๊กโฟลว์	36
3.4 ถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่องที่วางเรียงกันแบบอนุกรม	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.5 ถังปฏิกิริยาแบบอาร์บีซี 38

บทที่ 4 รูปแบบโปรแกรม 40

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 57

5.1 ข้อสรุป 57

5.2 ข้อเสนอแนะ 57

รายการอ้างอิง 58

ภาคผนวก 59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	กระบวนการตะกอนเร่ง	3
รูปที่ 2.2	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของจำนวนจุลินทรีย์ในถังปฏิกิริยาแบบแบทช์	6
รูปที่ 2.3	ลักษณะการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในอาหารปริมาณต่างๆ	9
รูปที่ 2.4	ถังปฏิกิริยาแบบแบทช์	14
รูปที่ 2.5	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า S และ X ในถังปฏิกิริยาแบบแบทช์	16
รูปที่ 2.6	ถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่องที่มีการไหลวนกลับ โดยมีระบบถ่ายตะกอนทิ้งออกจากท่อไหลวนกลับ	17
รูปที่ 2.7	ถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่องที่มีการไหลวนกลับ โดยมีระบบถ่ายตะกอนทิ้งออกจากถังปฏิกิริยา	21
รูปที่ 2.8	ระบบถังปฏิกิริยาแบบปล๊กโฟลว์ที่มีการไหลวนกลับ	22
รูปที่ 2.9	ถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่องที่วางเรียงกันแบบอนุกรม	27
รูปที่ 2.10	ถังปฏิกิริยาแบบอาร์บีซี	29
รูปที่ 3.1	แผนภูมิการคำนวณสำหรับถังปฏิกิริยาแบบแบทช์	34
รูปที่ 3.2	แผนภูมิการคำนวณสำหรับถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่อง	35
รูปที่ 3.3	แผนภูมิการคำนวณสำหรับถังปฏิกิริยาแบบปล๊กโฟลว์	36
รูปที่ 3.4	แผนภูมิการคำนวณสำหรับถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่องที่วางเรียงกันแบบอนุกรม	37
รูปที่ 3.5	แผนภูมิการคำนวณสำหรับถังปฏิกิริยาแบบอาร์บีซี สำหรับ n=1	38
รูปที่ 3.6	แผนภูมิการคำนวณสำหรับถังปฏิกิริยาแบบอาร์บีซี สำหรับ n>1	39
รูปที่ 4.1	หน้าจอแรกของโปรแกรม	40
รูปที่ 4.2	รายการหลักของโปรแกรม	41
รูปที่ 4.3	หน้าจอรับค่าตัวแปรสำหรับถังปฏิกิริยาแบบแบทช์	42
รูปที่ 4.4	ทฤษฎีสำหรับถังปฏิกิริยาแบบแบทช์	43
รูปที่ 4.5	หน้าจอแสดงผลสำหรับถังปฏิกิริยาแบบแบทช์	44
รูปที่ 4.6	หน้าจอรับค่าตัวแปรสำหรับถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่อง	45
รูปที่ 4.7	ทฤษฎีสำหรับถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่อง	46
รูปที่ 4.8	หน้าจอแสดงผลสำหรับถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่อง	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.9 หน้าจอรับค่าตัวแปรสำหรับถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่องที่วางเรียงแบบอนุกรม	48
รูปที่ 4.10 ทฤษฎีสำหรับถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่องที่วางเรียงกันแบบอนุกรม	49
รูปที่ 4.11 หน้าจอแสดงผลสำหรับถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่องที่วางเรียงกันแบบอนุกรม	50
รูปที่ 4.12 หน้าจอรับค่าตัวแปรสำหรับถังปฏิกิริยาแบบปล๊กโฟลว์	51
รูปที่ 4.13 ทฤษฎีสำหรับถังปฏิกิริยาแบบปล๊กโฟลว์	52
รูปที่ 4.14 หน้าจอแสดงผลสำหรับถังปฏิกิริยาแบบปล๊กโฟลว์	53
รูปที่ 4.15 หน้าจอรับค่าตัวแปรสำหรับถังปฏิกิริยาแบบอาร์บีซี	54
รูปที่ 4.16 ทฤษฎีสำหรับถังปฏิกิริยาแบบอาร์บีซี	55
รูปที่ 4.17 หน้าจอแสดงผลสำหรับถังปฏิกิริยาแบบอาร์บีซี	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	พื้นที่หน้าตัดของถังปฏิกิริยาในทิศทางการไหล, เมตร^2
k	อัตราการใช้สารอินทรีย์มากที่สุดต่อหนึ่งหน่วยของมวลจุลินทรีย์, ต่อชั่วโมง
k_d	ค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของจุลินทรีย์, ต่อชั่วโมง
K_S	ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในระบบ ณ จุด 0.5 μ_m, มิลลิกรัม/ลิตร
L	ความยาวของถังปฏิกิริยา, เมตร
n	จำนวนแผ่นตัวกลางที่ใช้ในระบบ
Q	อัตราการไหลของน้ำเสีย, ลูกบาศก์เมตร/วัน
Q_w	ปริมาณสลัดจ์ที่ต้องการถ่ายทิ้ง, ลูกบาศก์เมตร/วัน
r_d	อัตราการลดลงของจุลินทรีย์, มิลลิกรัม/(ลิตร.ชั่วโมง)
r_g	อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ต่อหน่วยเวลา, มิลลิกรัม/(ลิตร.ชั่วโมง)
r_g'	อัตราเพิ่มขึ้นสุทธิของจุลินทรีย์, มิลลิกรัม/(ลิตร.ชั่วโมง)
r_{su}	อัตราการใช้สารอินทรีย์ในการดำรงชีพของจุลินทรีย์, มิลลิกรัม/(ลิตร.ชั่วโมง)
S_{ej}	*BOD* หรือ *COD* ของน้ำที่ได้ผ่านถังที่ j แล้ว, มิลลิกรัม/ลิตร
S_{en}	*BOD* หรือ *COD* ของน้ำที่ได้ผ่านถังสุดท้ายแล้ว, มิลลิกรัม/ลิตร
S_0	ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่ไหลเข้าระบบ, มิลลิกรัม/ลิตร
t	ระยะเวลาที่จุลินทรีย์อยู่ในระบบ, วัน
V	ปริมาตรของน้ำในถังปฏิกิริยา,เมตร^3
V_A	ปริมาตรของเมือกจุลินทรีย์ที่เกาะบนผิวตัวกลาง, เมตร^3
x	ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีในระบบ, มิลลิกรัม/ลิตร
X_A	ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่เกาะบนผิวตัวกลาง, มิลลิกรัม/ลิตร
X_e	ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่หลุดลอยไปกับน้ำทิ้งที่ไหลล้นออกจากถังตกตะกอน, มิลลิกรัม/ลิตร
X_d	ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่ตาย, มิลลิกรัม/ลิตร
X_S	ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์แขวนลอย , มิลลิกรัม/ลิตร
X_v	ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิต, มิลลิกรัม/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

X_0	ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ ณ เวลา t = 0 , มิลลิกรัม/ลิตร
X_1	ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่ต้องควบคุมในระบบ, มิลลิกรัม/ลิตร
Y	อัตราส่วนระหว่างจำนวนจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลาย
Y_{obs}	อัตราส่วนผลิตภัณฑ์ที่สังเกตได้
Z	ความยาวของถัง, เมตร
θ	เวลาเก็บกักของน้ำเสียในถังเติมอากาศ, วัน
θc	อายุสลัดจ์, วัน
θ_w	เวลาเก็บกักของน้ำเสียในถังปฏิกิริยา, วัน
μ	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของจุลินทรีย์, วัน$^{-1}$
μ_m	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของจุลินทรีย์, วัน$^{-1}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

น้ำเสียเป็นน้ำที่ไหลมาจากแหล่งต่างๆได้แก่ แหล่งเพาะปลูก แหล่งเลี้ยงสัตว์ แหล่งอุตสาหกรรม และแหล่งชุมชนทั่วไป ซึ่งน้ำเสียที่มาจากแหล่งต่างๆจะมีความแตกต่างกัน น้ำเสียบางประเภทมีสารพวกสารอินทรีย์ต่างๆมากมายแต่บางประเภทจะมีโลหะหนักหรือสารพิษอื่นๆ การบำบัดน้ำเสียเหล่านี้จึงต้องเลือกวิธีบำบัดที่ถูกต้องและเหมาะสมกับสภาพของน้ำนั้นๆการบำบัดน้ำเสียเป็นกระบวนการที่จำเป็นต้องอาศัยทฤษฎี และการปฏิบัติควบคู่กันไป เพื่อสามารถบรรลุผลที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในทางปฏิบัติหากทำการทดลองในระบบจริงจะต้องใช้เวลามากและอาจเสียค่าใช้จ่ายสูง ทางออกวิธีหนึ่ง คือการจำลองกระบวนการ โดยอาศัยคอมพิวเตอร์ซอฟแวร์ซึ่งเป็นวิธีที่รวดเร็ว และมีค่าใช้จ่ายต่ำ มีตำราและเอกสารจำนวนมากที่ให้ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการบำบัดน้ำเสีย แต่เพื่อความสะดวกในการเรียนรู้ การทำความเข้าใจและสามารถนำไปใช้ทดสอบระบบบำบัดน้ำเสียระบบหนึ่งๆจึงสนใจจัดทำเนื้อหาและรูปแบบจำลองเกี่ยวกับระบบการบำบัดน้ำเสียในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ขึ้นเพื่อช่วยให้เข้าใจเห็นภาพลักษณ์ได้ง่าย อีกทั้งการแสดงผลของโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะช่วยให้เนื้อหาต่างๆ น่าสนใจและน่าติดตามมากยิ่งขึ้นอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

การเขียนโปรแกรมจำลองกระบวนการบำบัดน้ำเสียมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ทั้งด้านทฤษฎีและช่วยคำนวณออกแบบในแต่ละส่วนของระบบบำบัดน้ำเสียและสามารถที่จะนำไปใช้ได้จริง

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 ศึกษาและรวบรวมทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับระบบการบำบัดน้ำเสีย

1.3.2 ศึกษาและรวบรวมเทคนิคและวิธีการในการเขียนโปรแกรมด้วยเดลไฟล์

1.3.3 จัดทำรูปแบบโปรแกรมและเขียนโปรแกรมจำลองระบบการบำบัดน้ำเสีย

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน

1.4.1 มีความรู้ความเข้าใจระบบการบำบัดน้ำเสียแบบต่างๆ

1.4.2 มีความรู้ความเข้าใจในการเขียนโปรแกรมมากขึ้นและสามารถนำคอมพิวเตอร์มาประยุกต์สำหรับงานด้านวิศวกรรมเคมีได้มากขึ้น

1.4.3 ได้โปรแกรมส่งเสริมการเรียนรู้และนำไปใช้ได้เกี่ยวกับระบบการบำบัดน้ำเสีย

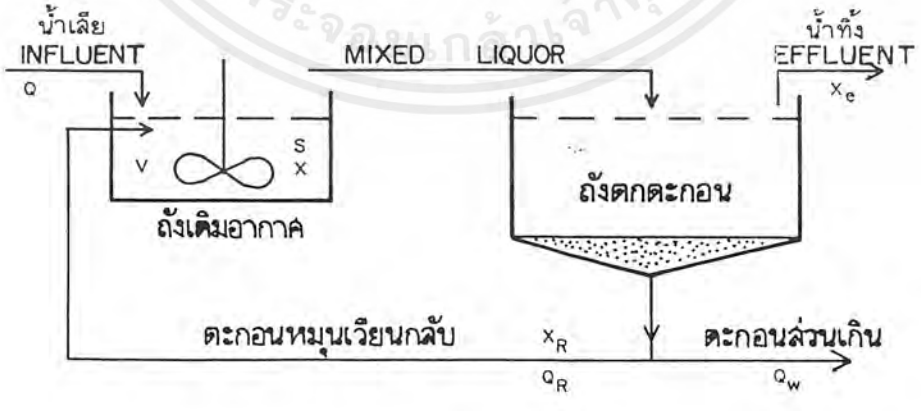
1.4.4 สร้างทักษะในการวิเคราะห์และแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการดำเนินโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

กระบวนการตะกอนเร่ง (Activated Sludge : AS) เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีชีวภาพที่นิยมใช้กันมาก โดยอาศัยจุลินทรีย์ที่มีปริมาณมากพอสำหรับการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย จุลินทรีย์เหล่านี้จะลอยอยู่ในน้ำตะกอนของถังเติมอากาศซึ่งจะขยายพันธุ์เพิ่มปริมาณขึ้นในลักษณะที่เรียกว่าการเจริญเติบโตแขวนลอย (Suspended growth) โดยทั่วไปภายในถังเติมอากาศจะมีระบบกวนซึ่งมักจะใช้เครื่องจักรกล ทำหน้าที่ให้จุลินทรีย์หรือสลัดจ์แขวนลอยอยู่ภายในถังเติมอากาศตลอดเวลา เพื่อที่จะสามารถควบคุมจำนวนจุลินทรีย์ได้ตามความต้องการ จึงจำเป็นต้องมีการแยกน้ำใสออกจากสลัดจ์ให้ไหลออกจากถังตกตะกอนส่วนก้นถังตกตะกอนจะมีความเข้มข้นของจุลินทรีย์มากซึ่งมักนำกลับสู่ถังเติมอากาศเพื่อช่วยในการควบคุมจำนวนจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศได้ ถ้าพบว่าระบบมีสลัดจ์มากเกินไปก็อาจสูบถ่ายจากก้นถังตกตะกอนโดยตรงก็ได้และจะนำสลัดจ์ส่วนเกินนี้ไปทำให้แห้งหรือกำจัดทิ้งต่อไป กระบวนการตะกอนเร่งโดยทั่วไปได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กระบวนการตะกอนเร่ง [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีของกระบวนการตะกอนเร่งเป็นสิ่งที่ควรทราบก่อนจะเริ่มทำการออกแบบหรือควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียต่อไปนี้จะอธิบายทฤษฎีที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์การเกิด การตายของจุลินทรีย์และการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ซึ่งเป็นความรู้ที่ได้มาจากวิชาชีวเคมี แต่จะอธิบายในลักษณะทางคณิตศาสตร์ ปฏิกิริยาชีวเคมีข้างล่างเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในขณะที่ตัวจุลินทรีย์ได้ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียจนเป็นผลของปฏิกิริยา ปริมาณสารจะลดลง แต่จำนวนจุลินทรีย์จะเพิ่มขึ้นและมีพลังงานเพิ่มขึ้น [1]

$$\text{สารอินทรีย์} + \text{จุลินทรีย์} \xrightarrow{\text{ออกซิเจน}} \text{จุลินทรีย์ขยายพันธุ์} + CO_2 + H_2O + \text{พลังงาน} + \text{สารอื่นๆ}$$

$$CHONS + O_2 + \text{สารอาหารอื่นที่จำเป็น} \xrightarrow{\text{แบคทีเรีย}} C_5H_7NO_2 + CO_2 + H_2O + \text{พลังงาน} + NH_3 + SO_4^{-2}$$

2.1 ทฤษฎีจลนพลศาสตร์ของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีววิทยา

ในการออกแบบและดำเนินการระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้วิธีทางชีววิทยา จำเป็นต้องทราบถึงลักษณะการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในถังหรือบ่อปฏิกิริยา ที่มีความสัมพันธ์กับสารอินทรีย์ (Substrate) ที่มีอยู่ในน้ำเสีย ในหัวข้อนี้จะได้อธิบายลักษณะการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในถังหรือบ่อปฏิกิริยาประเภทต่างๆ ในเชิงคณิตศาสตร์ เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการออกแบบและดำเนินการระบบบำบัดน้ำเสียดังกล่าวได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม

จุลินทรีย์ต่างๆ ในถังปฏิกิริยาจะมีการเจริญเติบโต การเพิ่มจำนวนและการตาย ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กันกับปริมาณสารอินทรีย์ที่เติมลงไปในถังปฏิกิริยาและสภาวะแวดล้อมต่างๆ ได้แก่ ความเป็นกรดด่าง อุณหภูมิ สารอาหารที่จำเป็นอื่นๆ (เช่น N, P, K ฯลฯ) ปริมาณออกซิเจน เป็นต้น

เพื่อการศึกษาจลนพลศาสตร์ (Kinetics) ของการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในถังปฏิกิริยาเป็นไปได้ง่าย อาจพิจารณาเลือกใช้ถังปฏิกิริยาชีวเคมีแบบแบทช์ (Batch system) รูปที่ 2.2 ได้แสดงการเปลี่ยนแปลงของจำนวนจุลินทรีย์ในถังปฏิกิริยาแบบแบทช์ โดยมีความสัมพันธ์กันกับปริมาณสารอินทรีย์ที่เติมลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.2 เป็นการแสดงลักษณะการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในถังปฏิกิริยาเหมือนกัน และเป็นการอธิบายในเชิงจลนพลศาสตร์เพิ่มขึ้นดังนี้

ช่วงที่ 1 (Lag)

เป็นช่วงที่เปรียบเสมือนกับจุลินทรีย์กำลังจะเข้าสู่สิ่งแวดล้อมใหม่ พวกจุลินทรีย์เหล่านี้โดยมากจะมาจากน้ำเสียต่างๆ ดินหรือเชื้อจุลินทรีย์ที่เพาะเก็บไว้ ซึ่งอาจมีสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกับสิ่งแวดล้อมใหม่ ดังนั้นช่วงที่ 1 จึงเป็นช่วงที่จัดให้จุลินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบคุ้นเคยกับสิ่งแวดล้อมใหม่ ช่วง Lag อาจแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ช่วงแรกจำนวนเซลล์จะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ช่วงที่สองจะมีอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นบ้างเล็กน้อย ช่วง Lag นี้ มีความเกี่ยวพันกับการดำเนินการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียอย่างมาก ตัวอย่างเช่น จุลินทรีย์จากระบบตะกอนเร่งบางส่วนในบริเวณส่วนล่างของถังตกตะกอนได้รับสารอาหารและออกซิเจนไม่เพียงพอ ได้ถูกสูบไปยังถังเติมอากาศ เปรียบเสมือนเข้าสู่สิ่งแวดล้อมใหม่เช่นกัน ทำให้ต้องเสียเวลาในการปรับตัวเข้ากับสิ่งแวดล้อมใหม่ จากนั้นจึงจะเข้าสู่ช่วงการเจริญเติบโตต่อๆ ไป แต่ถ้าต้องการให้ระบบบำบัดน้ำเสียดังกล่าวอยู่ในช่วงที่มีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์อย่างต่อเนื่อง โดยที่ไม่ต้องผ่านช่วงที่ 1 สามารถกระทำได้โดยการนำจุลินทรีย์จำนวนมากพอจากระบบบำบัดน้ำเสียแห่งอื่นมาเติมใส่ลงในระบบบำบัดน้ำเสียดังกล่าว แต่ต้องเติมในน้ำเสียประเภทเดียวกัน

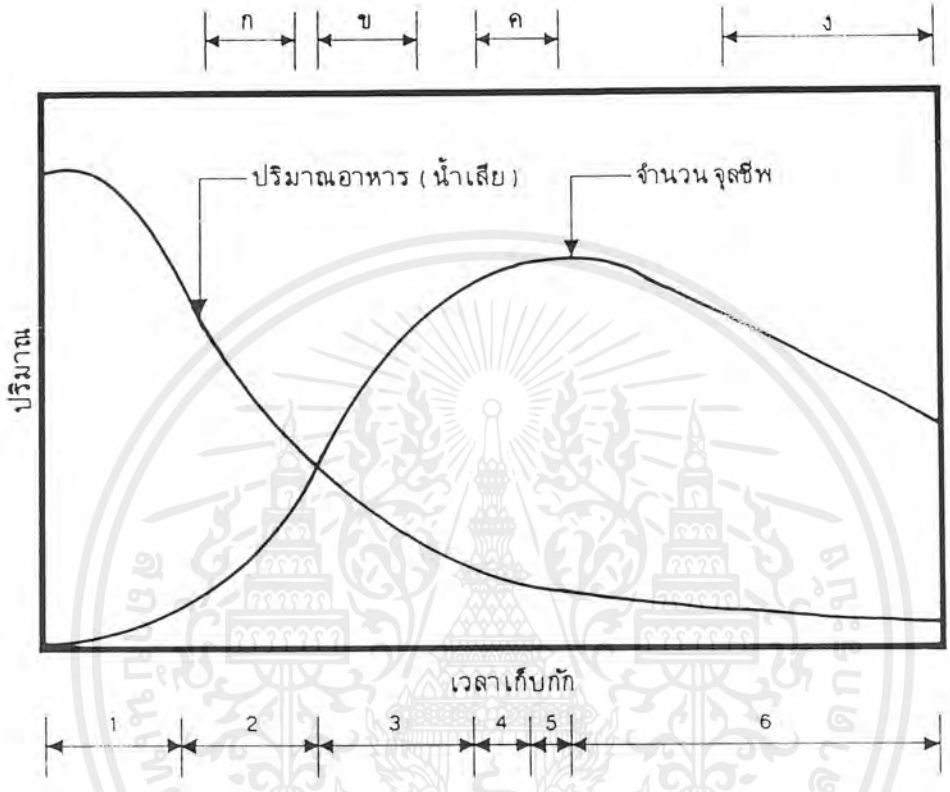
ช่วงที่ 2 (Acceleration)

ช่วงที่ 2 นี้ เป็นช่วงที่จะมีจุลินทรีย์เริ่มเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ ช่วงนี้เปรียบเสมือนรถยนต์กำลังเร่งเครื่องเดินหน้า ปฏิกิริยาชีวเคมีได้เกิดขึ้นเป็นลูกโซ่ในช่วงที่ 2 นี้จนถึงระดับคงที่

ช่วงที่ 3 (Log)

ช่วงที่ 3 เป็นช่วงที่จุลินทรีย์ได้รับความคุ้นเคยกับระบบแล้วการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากการศึกษาวิจัยพบว่า อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มีลักษณะเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง ซึ่งอธิบายได้โดยสมการ (2.1) จากรูปที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าช่วงนี้มีค่า F/M สูง (สารอินทรีย์/จำนวนจุลินทรีย์) ดังนั้นจำนวนจุลินทรีย์ที่ตายลงจึงมีน้อยมากไม่จำเป็นต้องคำนึงถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1	=	Lag	ก	=	Dispersed growth
2	=	Acceleration	ข	=	High rate
3	=	Log	ค	=	Conventional
4	=	Declining	ง	=	Extended aeration
5	=	Stationary			
6	=	Endogenous			

รูปที่ 2.2 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของจำนวนตัวจุลินทรีย์ในถังปฏิกิริยาแบบแบทช์ [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{dx}{dt} = \mu X \qquad (2.1)$$

เมื่อ X คือ ความเข้มข้นของจุลินทรีย์, มิลลิกรัม/ลิตร

t คือ ระยะเวลาที่จุลินทรีย์อยู่ในระบบ, เวลา

μ คือ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ, 1/เวลา

เมื่ออินทิเกรตจะได้ดังสมการ (2.2) หรือ (2.3) ซึ่งเป็นลักษณะสมการเอ็กโปเนนเชียล หรือ ล็อกการิทึม ดังนั้นจึงนิยมเรียกช่วงที่ 3 ว่า เอ็กโปเนนเชียลเฟส หรือ ล็อกเฟส นั่นเอง

$$X_t = X_0 e^{\mu t} \qquad (2.2)$$

$$\ln X_t = \ln X_0 + \mu t \qquad (2.3)$$

เมื่อนำข้อมูลของ X กับ t มาสร้างกราฟแบบเซมิล็อก จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันของเส้นกราฟเท่ากับ μ ดังสมการ (2.4)

$$\mu = \frac{\ln X_t - \ln X_0}{t} \qquad (2.4)$$

ช่วงที่ 4 (Declining)

ช่วงที่ 4 เป็นช่วงที่มีจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นมากมายจนมีสารอินทรีย์ไม่เพียงพอสำหรับอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่สูงมาก ทำให้มีอัตราการตายของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้ค่าอัตราการเจริญเติบโตสุทธิของจุลินทรีย์มีค่าลดลงมากเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงที่ 3 นี้คือตั้งแต่ เวลาที่ 9 ชม. ถึง 11 ชม. ค่า dX/dt ค่อยๆ ลดลง ซึ่งในช่วงนี้จะมีจำนวนจุลินทรีย์มาก แต่จะมีจำนวนมากแบบนี้ได้ไม่นานนักจำนวนจุลินทรีย์ก็จะค่อยๆ ลดลงในภายหลังคือในช่วงที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงที่ 5 (Stationary)

ช่วงที่ 5 เป็นช่วงที่มีจำนวนจุลินทรีย์ที่มากที่สุด (X สูงสุด) และมีค่า dX/dt เท่ากับ 0 คือจะไม่มีการเพิ่มขึ้น หรือลดจำนวนจุลินทรีย์ลง เป็นช่วงที่มีปริมาณสารอินทรีย์จำกัด จากสมการ (2.1) ค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (μ) จะเท่ากับ 0 ช่วงนี้จะมีระยะเวลาสั้นมาก จากช่วงที่ 5 จะเคลื่อนไปที่ช่วงที่ 6 ซึ่งจำนวนจุลินทรีย์เริ่มลดลง

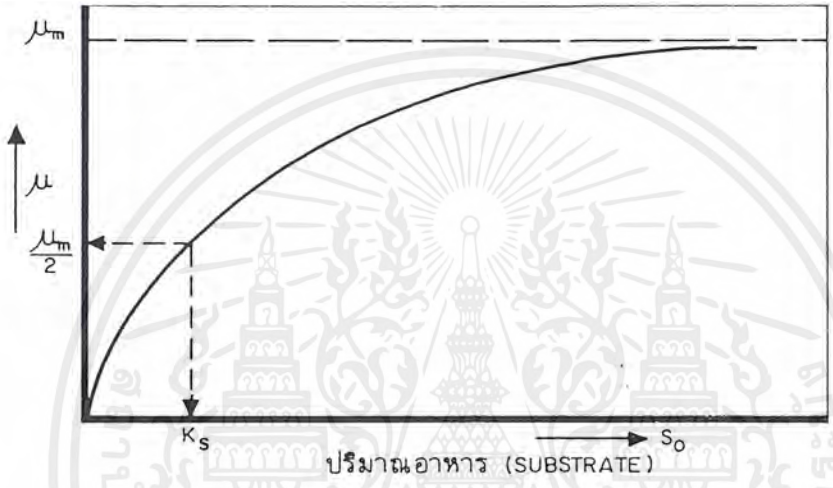
ช่วงที่ 6 (Endogenous)

ช่วงที่ 6 เป็นช่วงที่มีจำนวนจุลินทรีย์น้อยลงเรื่อยๆ โดยมีอัตราการตายเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ สำหรับอัตราลดลงของจำนวนจุลินทรีย์มีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมนั้นๆ ดังนั้นการหาค่าอัตราการลดลงของจำนวนจุลินทรีย์สามารถกระทำได้โดยการทดลอง ณ สภาวะแวดล้อมนั้นๆ

หลังจากที่ได้เข้าใจลักษณะการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในถังปฏิกิริยาชีวเคมีแบบแบทช์แล้ว เพื่อให้สามารถนำความเข้าใจดังกล่าวมาช่วยในการศึกษาวิจัย และในการคำนวณออกแบบที่เกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีววิทยา จึงต้องอาศัยความรู้ทางด้านคณิตศาสตร์มาช่วยสร้างรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวกับลักษณะการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เพื่อให้สามารถเข้าใจได้ลึกซึ้งขึ้น

Monod [5] ได้ทำการทดลองศึกษาลักษณะการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์รูปที่ 2.3 ได้แสดงลักษณะการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สำหรับปริมาณสารอินทรีย์ (Substrate) ต่างๆ ค่า μ ในรูปที่ 2.3 คือค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของจุลินทรีย์ และค่า μ_m คือค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของจุลินทรีย์หรือเรียกง่ายๆ ว่า ค่า μ สูงสุด และค่า K_s คือค่าปริมาณสารอินทรีย์ ณ จุดที่มีค่า μ เท่ากับ 0.5 μ_m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ลักษณะการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สำหรับปริมาณสารอินทรีย์ต่างๆ

จากรูปที่ 2.3 เป็นเส้นโค้งคล้ายกับลักษณะปฏิกิริยาชีวเคมีของเอนไซม์กับสารอินทรีย์ในสมการของโดย Michaelis-Menton ดังสมการ (2.5) ซึ่งเอนไซม์ในปฏิกิริยาชีวเคมีก็คือจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสีย โดยกำหนดให้ค่า V_m เท่ากับ $\mu_m X$ ซึ่งจากสมการ (2.5) จะได้สมการ (2.6) โดยใช้ r_g คืออัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ต่อหน่วยเวลา

$$\frac{dX}{dt} = \frac{V_m S}{K_s + S} \tag{2.5}$$

$$r_g = \frac{dX}{dt} = \frac{\mu_m XS}{K_s + S} \tag{2.6}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำสมการ (2.1) มาแทนค่าลงในสมการ (2.6) จะได้สมการ (2.7) ซึ่งเป็นสมการที่ Monod ได้สร้างขึ้นมา

$$\mu = \frac{\mu_m S}{K_s + S} \qquad (2.7)$$

ซึ่งสมการ (2.7) จะเป็นตัวแทนที่ดีสมการหนึ่งที่แสดงเส้นโค้งในรูปที่ 2.3 แต่อาจหาสมการใหม่ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเส้นโค้งในนี้ ในสภาวะแวดล้อมหนึ่ง การหาสมการที่เหมาะสมกับเส้นโค้งสามารถหาได้โดยใช้วิธีทางสถิติชั้นสูงรวมกับความรู้การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จ

ในแต่ในที่นี้จะใช้สมการ (2.7) มาใช้ในการอธิบายและสร้างสมการต่างๆ สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางชีววิทยา เพราะเป็นสมการที่นิยมใช้กันมากที่สุดสมการหนึ่ง

จากสมการ (2.6) นำมาศึกษาวิเคราะห์จะได้ผลลัพธ์ดังต่อไปนี้

1. เมื่อค่า S มีค่ามากกว่า K_s มากๆ จะได้ $r_g = \mu_m X$ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง จุลินทรีย์จะอยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยสารอินทรีย์ ทำให้อัตราการสังเคราะห์ทางชีวเคมีจะมีสูงสุด

2. เมื่อ S มีค่าเท่ากับ K_s จะได้ $r_g = \frac{\mu_m X}{2}$ ซึ่งจะเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง แต่จะมีอัตราการสังเคราะห์ทางชีวเคมีครึ่งหนึ่งของอัตราการสังเคราะห์ทางชีวเคมีสูงสุด

3. เมื่อ S มีค่าน้อยกว่า K_s มากๆ จะได้ $r_g = \frac{\mu_m XS}{K_s}$ ซึ่งจะเป็นปฏิกิริยาอันดับสอง โดยจะขึ้นอยู่กับ X และ S

เมื่อได้กล่าวถึงลักษณะการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แล้ว ต่อไปนี้จะได้กล่าวถึงอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอัตราการกินสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ อัตราการใช้พลังงานในการดำรงชีพ อัตราการตาย อุณหภูมิ และสิ่งแวดล้อมอื่นๆ

อัตราการกินสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์

จุลินทรีย์ได้อาศัยสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย เพื่อการเจริญเติบโตและการเพิ่มจำนวนพลเมืองขึ้น โดยใช้สมการ (2.8) อธิบาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$r_g = -Yr_{su} \qquad (2.8)$$

เมื่อ r_g คือ อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ต่อหน่วยเวลา, มิลลิกรัม/(ลิตร.ชั่วโมง)

r_{su} คือ อัตราการใช้สารอินทรีย์ในการดำรงชีพของจุลินทรีย์, มิลลิกรัม/(ลิตร.ชั่วโมง)

Y คือ ค่าสัมประสิทธิ์ผลิตภัณฑ์มากที่สุด ณ ช่วงล็อก,มวลของจุลินทรีย์/มวลของสารอินทรีย์

ค่า Y สามารถหาได้โดยการทดลอง โดยค่า Y จะขึ้นอยู่กับตัวจุลินทรีย์และสภาพแวดล้อมรอบ ๆ ตัวจุลินทรีย์ สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมจะทำให้ตัวจุลินทรีย์มีความสามารถใช้สารอินทรีย์เพื่อการดำรงชีพได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เมื่อนำสมการ (2.6) แทนค่าในสมการ (2.8) จะได้สมการ (2.9)

$$r_g = \frac{\mu_m XS}{K_s + S} = -Yr_{su} \qquad (2.9)$$

หรือ

$$r_{su} = -\frac{\mu_m XS}{Y(K_s + S)} \qquad (2.10)$$

ผลของการย่อยสลายสารอินทรีย์

ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย จะมีปริมาณของจุลินทรีย์ค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์ ที่เป็นสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ขนาดของถังบำบัดน้ำเสีย และสภาวะแวดล้อมอื่นๆ จุลินทรีย์เหล่านี้จะทำการย่อยสลายหรือทำให้เจริญเติบโต (metabolize) พวก โพรโทพลาสซึม (Protoplasm) จากภายในเซลล์ของตัวจุลินทรีย์ จุลินทรีย์ที่มีอายุมากต้องการพลังงานสำหรับการบำรุงรักษาเซลล์ และตัวจุลินทรีย์บางตัวตายลง เมื่อพิจารณาในลักษณะมวลของเซลล์ จะได้ว่าปริมาณมวลของเซลล์ลดลงโดยแปรผันกับปริมาณของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ปัจจุบัน โดยกำหนดว่าอัตราลดลงของจุลินทรีย์เท่ากับ r_d ที่นิยมเรียกว่า Endogenous decay ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการ (2.11) โดยอัตราลดลงของจุลินทรีย์เป็นอันดับหนึ่ง

$$r_d = -k_d X \qquad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ r_d คือ อัตราการลดลงของจุลินทรีย์, มิลลิกรัม/(ลิตร.ชั่วโมง)

k_d คือ ค่าสัมประสิทธิ์ในการลดลงของจุลินทรีย์, ต่อ ชั่วโมง

X คือ ความเข้มข้นของจุลินทรีย์, มิลลิกรัม/ลิตร

จากผลของการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ เมื่อนำมารวมกับสมการ (2.6) จะเขียนใหม่ได้เป็นสมการข้างล่าง ซึ่งคืออัตรา เพิ่มขึ้นสุทธิของจุลินทรีย์

$$r_g^{\prime} = \frac{\mu_m XS}{K_s + S} - k_d X \qquad (2.12)$$

และจากสมการ (2.8) จะได้

$$r_g^{\prime} = -Yr_{su} - k_d X \qquad (2.13)$$

เมื่อ $r_g^{\prime}$ คือ อัตราเพิ่มขึ้นสุทธิของจุลินทรีย์, มิลลิกรัม/(ลิตร.ชั่วโมง)

จากสมการ (2.9) และ (2.13) จะได้ค่าอัตราเจริญเติบโตจำเพาะของจุลินทรีย์

$$\frac{r_g^{\prime}}{X} = -\frac{Yr_{su}}{X} - k_d \qquad (2.14)$$

$$\frac{r_g^{\prime}}{X} = \frac{\mu_m S}{(K_s + S)} - k_d = \mu^{\prime} . \qquad (2.15)$$

เมื่อพิจารณาผลของเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ ทำให้สมการ (2.8) จำเป็นต้องแปลงใหม่เป็น

$$r_g^{\prime} = -Y_{obs} r_{su} \qquad (2.16)$$

เมื่อ Y_{obs} คือ อัตราส่วนผลิตภัณฑ์ที่สังเกตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของอุณหภูมิ

ในถังปฏิกิริยาชีวเคมี หรือถังบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีชีววิทยา จะมีปฏิกิริยาชีวเคมีเกิดขึ้นภายในถังดังกล่าว ซึ่งอุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่จะส่งผลให้ระบบบำบัดน้ำเสียนี้มีประสิทธิภาพสูงหรือต่ำได้อย่างมาก โดยพิจารณาทั้งทางด้านชีววิทยา ทางกายภาพ และทางด้านเคมี ได้ดังต่อไปนี้

ก) ทางชีววิทยา อุณหภูมิสามารถเปลี่ยนระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ (สารอินทรีย์ในน้ำเสีย) ของจุลินทรีย์ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น หรือลดลงได้ แต่โดยทั่วไปเอ็นไซม์หรือจุลินทรีย์จะมีระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ดีเมื่ออุณหภูมิภายในระบบอยู่ในช่วง 30-80 °ซ

ข) ทางกายภาพ อุณหภูมิสามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติในการตกตะกอนของตะกอนจุลินทรีย์ในถังตกตะกอนได้อย่างมาก โดยถ้าภายในถังตกตะกอนมีอุณหภูมิที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย (2-3 °ซ) จะส่งผลให้เกิดการกวนหรือไหลขึ้นภายในถัง ซึ่งทำให้ขัดขวางการตกตะกอนของจุลินทรีย์

ค) ทางเคมี อุณหภูมิยังสามารถมีผลต่อการเติมอากาศลงในน้ำเสียและการถ่ายเทก๊าซต่างๆ ออกจากน้ำเสียอีกด้วย

สมการ (2.17) ได้แสดงผลของอุณหภูมิที่มีต่อปฏิกิริยาชีวเคมีในระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีชีววิทยา โดยได้แสดงค่าของอัตราเร็วของปฏิกิริยาชีวเคมี ณ อุณหภูมิใดๆ

$$r_T = r_{20}\theta^{(T-20)} \qquad (2.17)$$

เมื่อ r_T คือ อัตราเร็วของปฏิกิริยาชีวเคมี ณ อุณหภูมิ T° ซ , ต่อ ชั่วโมง

r_{20} คือ อัตราเร็วของปฏิกิริยาชีวเคมี ณ อุณหภูมิ 20° ซ , ต่อ ชั่วโมง

θ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ (θ = 1.00-1.04 สำหรับระบบ Activated Sludge)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

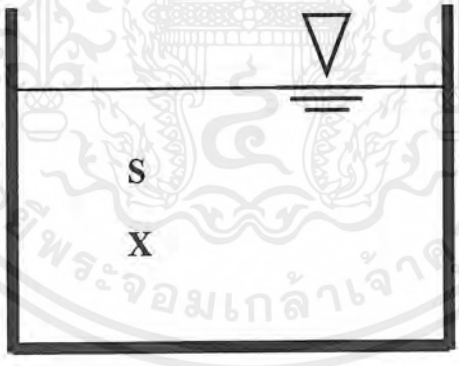
2.2 ประเภทของถังปฏิกิริยาสำหรับการบำบัดน้ำเสีย

ถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ ทั้งในลักษณะรูปทางเรขาคณิตและรูปทางชลศาสตร์ ดังนั้นในการสร้างสมการเพื่อใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบถังบำบัดน้ำเสียจำเป็นต้องทราบเกี่ยวกับปฏิกิริยาชีวเคมี และความรู้ทางชลศาสตร์เป็นอย่างดี

ในหัวข้อนี้จะได้อธิบายเกี่ยวกับสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียแบบต่างๆ ดังนี้

2.2.1 ถังปฏิกิริยาแบบแบทช์ (Batch Reactor)

จากความรู้เกี่ยวกับจลนพลศาสตร์ที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้ว สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์รูปแบบของถังปฏิกิริยาแบบแบทช์ได้ พิจารณาสมการสมดุลของสารอินทรีย์ในระบบของรูปที่ 2.4 ซึ่งเป็นถังปฏิกิริยาแบบแบทช์ทั่วไป



รูปที่ 2.4 ถังปฏิกิริยาแบบแบทช์

มวลสารอินทรีย์ก่อนทำปฏิกิริยา = มวลสารอินทรีย์หลังทำปฏิกิริยา

$$QS_0 = QS + r_{su}V \qquad (2.18)$$

เมื่อ S_0 คือ ปริมาณสารอินทรีย์ ณ เวลา t = 0, มิลลิกรัม/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{Q}{V}(S_0 - S) = r_{su} \qquad (2.19)$$

จากสมการ (2.10) จะได้

$$\frac{(S_0 - S)}{t} = \frac{ds}{dt} = \frac{-kXS}{(K_s + S)} \qquad (2.20)$$

พิจารณาสมการดุลมวลของจุลินทรีย์ในระบบของรูปที่ 2.4

มวลจุลินทรีย์ก่อนทำปฏิกิริยา = มวลจุลินทรีย์หลังทำปฏิกิริยา

$$QX_0 = QX + r_g'V \qquad (2.21)$$

เมื่อ X_0 คือ มวลของจุลินทรีย์ ณ เวลา t = 0 , มิลลิกรัม/ลิตร

X คือ มวลของจุลินทรีย์ในปริมาณของสารอินทรีย์ ซึ่งวัดในห้องปฏิบัติการได้ในรูปของปริมาณตะกอนที่ถูกเผาไหม้หายไป ณ อุณหภูมิ 600 °ซ

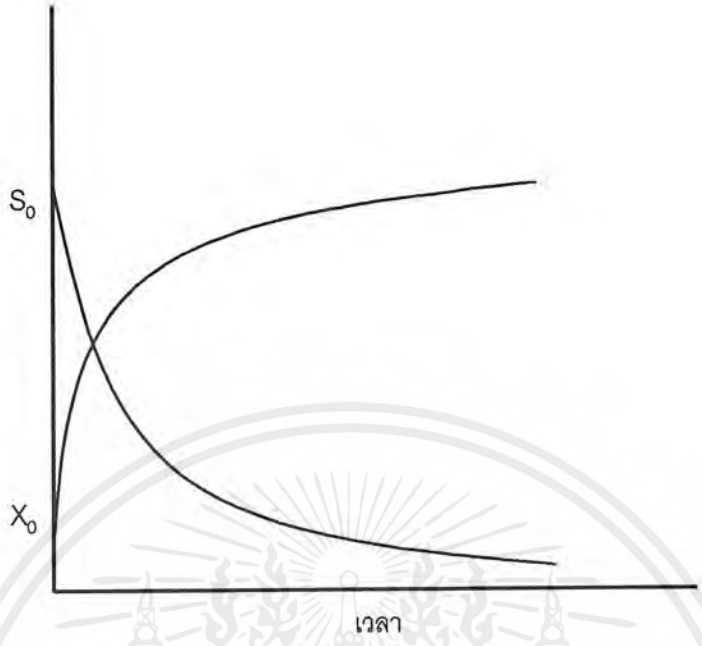
จากสมการ (2.12) จะได้

$$QX_0 = QX + V(\frac{\mu_m XS}{(K_s + S)} - k_d X) \qquad (2.22)$$

$$\frac{X_0 - X}{t} = \frac{dX}{dt} = \frac{\mu_m XS}{(K_s + S)} - k_d X \qquad (2.23)$$

จากสมการ (2.20) และสมการ (2.23) แสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปของกราฟดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า S และ X ในถังปฏิกิริยาแบบแบทช์

ค่าตัวแปรทางจลนพลศาสตร์ต่างๆ ได้แก่ Y, k_d, k, K_s สามารถหาได้โดยการทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ

สำหรับสมการ (2.20) และ (2.23) สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์แก้สมการ

เมื่อนำสมการ (2.20) และ (2.23) เมื่อทำการอินทิเกรตเพื่อให้ได้เป็นสมการพีชคณิต คือ สมการ (2.24) และ (2.25) ซึ่งสมมุติให้ k_d เท่ากับ 0 เพื่อช่วยให้อินทิเกรตสมการ (2.20) และ (2.23) ได้ง่ายขึ้น

$$\ln S = \ln[S_0 + Y(S_0 - S)\frac{S_0}{X}] + (\frac{X_0 + YS_0}{YK_s})\ln[\frac{X_0 + Y(S_0 - S)}{X_0}] - \frac{kt(X_0 + YS_0)}{K_s} \quad (2.24)$$

$$\ln X = kYt + \ln X_0 - (\frac{YK_s}{X_0 + YS_0})\ln[(\frac{X}{X_0})(\frac{YS_0}{YS_0 + X_0 - X})] \quad (2.25)$$

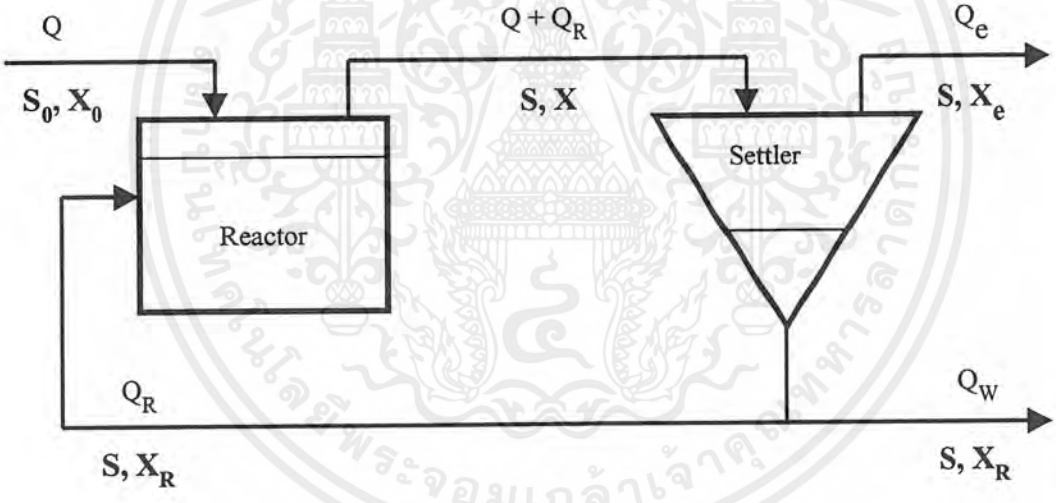
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.2.2 ถังปฏิกิริยาแบบถังกวนต่อเนื่อง (Continuous Stirred Tank Reactor)

ถังปฏิกิริยาแบบนี้จะมีน้ำเสีย และตะกอนจุลินทรีย์ผสมกันดีทั่วทั้งถังตลอดเวลา โดยน้ำที่ไหลออกจากถังปฏิกิริยาจะมีคุณลักษณะเหมือนกับน้ำที่อยู่ในถังปฏิกิริยา และมีการไหลเข้าออกแบบต่อเนื่องสม่ำเสมอ

ระบบถังปฏิกิริยาแบบนี้มีการนำตะกอนจุลินทรีย์ไหลวนกลับสู่ถังปฏิกิริยาอีกเพื่อเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ให้มีมากขึ้นในถังปฏิกิริยา และทำให้ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ลดลงก่อนที่จะไหลเข้าสู่ถังปฏิกิริยา หลังจากที่มีการผสมกันของจุลินทรีย์ (น้ำตะกอน) กับน้ำเสียที่จะไหลเข้าสู่ระบบดังแสดงในรูปที่ 2.6 ระบบนี้ยังสามารถควบคุมจำนวนจุลินทรีย์ในถังปฏิกิริยาให้มีปริมาณที่เหมาะสมกับน้ำเสียที่ไหลเข้ามา ซึ่งทำให้ระบบถังบำบัดน้ำเสียนี้มีประสิทธิภาพสูง



รูปที่ 2.6 ถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่องที่มีการไหลวนกลับ โดยมีระบบถ่ายตะกอนทิ้งออกจากท่อไหลวนกลับ

จากรูปที่ 2.6 น้ำเสียที่ไหลเข้ามามีปริมาณ Q มีความเข้มข้น S_0 มีจำนวนจุลินทรีย์ X_0 ได้ถูกผสมกับน้ำตะกอนที่ไหลวนกลับจากส่วนล่างของถังตกตะกอนดังนั้นค่าอัตราการไหลเข้า ความเข้มข้นของสารอินทรีย์และความเข้มข้นของจุลินทรีย์ที่ไหลเข้าสู่ถังปฏิกิริยา จะมีค่า ดังนี้

$$\textit{อัตราการไหลขาเข้า} = Q + Q_R \qquad (2.26)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
42395

$$\textit{ความเข้มข้นของอาหารขาเข้า} = \frac{(QS_0 + Q_R S)}{(Q + Q_R)} \qquad (2.27)$$

$$\textit{ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ขาเข้า} = \frac{(QX_0 + Q_R X_R)}{(Q + Q_R)} \qquad (2.28)$$

ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ระบบนี้ได้กำหนดว่าปฏิกิริยาชีวเคมีจะไม่เกิดขึ้นในถังตกตะกอน แต่จะเกิดขึ้นในถังปฏิกิริยาเท่านั้น

จากสมการดุลมวลของสาร

มวลสะสมอยู่ภายในถัง = มวลเข้า + มวลที่ไหลวนกลับ – มวลออก

$$V\frac{dS}{dt} = QS_0 + Q_R S - (Q + Q_R)S + V\left(\frac{-kXS}{(K_s + S)}\right) \qquad (2.29)$$

$$V\frac{dX}{dt} = QX_0 + Q_R X_R - (Q + Q_R)X + V\left(\frac{kYXS}{(K_s + S)} - k_d X\right) \qquad (2.30)$$

กำหนดให้ $\frac{Q_R}{Q} = R$

เวลาเก็บกักของน้ำเสีย $= \theta = \frac{V}{Q}$ (เมื่อพิจารณาเฉพาะน้ำเสียที่ไหลเข้า) จากสมการ (2.29) และ (2.30) สามารถเปลี่ยนใหม่ได้เป็นสมการ (2.31) และ (2.32) ตามลำดับ

$$\frac{dS}{dt} = \frac{1}{\theta}(S_0 - S) - \left(\frac{kXS}{K_s + S}\right) \qquad (2.31)$$

$$\frac{dX}{dt} = \frac{1}{\theta}[X_0 + RX_R - (1 + R)X] + \frac{kYXS}{(K_s + S)} - k_d X \qquad (2.32).$$

ถ้าระบบบำบัดน้ำเสียอยู่ในสภาวะคงที่จะได้ $\frac{dX}{dt} = 0$ และ $\frac{dS}{dt} = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น สมการ (2.31) และ (2.32) จะเปลี่ยนเป็นสมการ (2.33) และ (2.34) ตามลำดับ

$$\frac{S_0 - S}{\theta} = \frac{kXS}{K_s + S} \tag{2.33}$$

$$X_0 + RX_R - (1+R)X = \frac{-kYXS\theta}{(K_s + S)} + k_d X\theta \tag{2.34}$$

ถ้ากำหนดว่าน้ำเสียที่ไหลเข้า สู่ถังปฏิกิริยาไม่มีจุลินทรีย์ ($X = 0$) สมการ (2.34) สามารถเปลี่ยนเป็น สมการ (2.35)

$$RX_R - (1+R)X = \frac{-kYXS\theta}{(K_s + S)} + k_d X\theta \tag{2.35}$$

และถ้าไม่คำนึงถึง Endogenous Respiration $k_d = 0$ จะได้สมการ (2.36)

$$RX_R - (1+R)X = \frac{-kYXS\theta}{(K_s + S)} \tag{2.36}$$

การวิเคราะห์หาค่าเวลาเก็บกักจุลินทรีย์

ในการทำการทดลองของถังปฏิกิริยาชีวเคมีที่อยู่ในสภาวะคงที่ ดังนันเมื่อตะกอนจุลินทรีย์ได้เพิ่มขึ้นในแต่ละวันจึงจำเป็นต้องถ่ายทิ้งออกจากระบบในปริมาณที่เท่ากับที่เพิ่มขึ้นโดยสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ (2.35)

$$\textit{อัตราการเพิ่มของจุลินทรีย์} = \frac{kYXSV}{(K_s + S)} - k_d XV \tag{2.37}$$

จากความรู้ข้างต้นสามารถคำนวณหาเวลาเก็บกักของตะกอนจุลินทรีย์ (θ_c) ได้ดังนี้

$$\theta_c = \frac{\textit{ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกิริยา}}{\textit{อัตราเพิ่มขึ้นของจุลินทรีย์ + อัตราไหลเข้าของตะกอน}} \tag{2.38}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\theta_c = \frac{XV}{\left[\frac{kYXSV}{K_s + S} - k_d XV + X_0 Q\right]} \quad (2.39)$$

ถ้า $k_d = 0$ จะได้

$$\theta_c = \frac{XV}{\left[\frac{kYXSV}{K_s + S} + X_0 Q\right]} \quad (2.40)$$

เพื่อให้ได้ระบบอยู่ในสภาวะคงที่จำเป็นต้องถ่ายตะกอนจุลชีพทิ้งออกจากระบบให้มีปริมาณเท่ากับปริมาณของตะกอนจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 2.6 จะเห็นได้ว่า ปริมาณของตะกอนจุลินทรีย์ที่ถูกถ่ายทิ้งออกจากระบบมีดังนี้

ปริมาณของตะกอนจุลินทรีย์ที่ถูกถ่ายออกจากท่อไหลวนกลับ= $Q_w X_R$ (2.41)

ปริมาณของตะกอนจุลินทรีย์ที่ลอยทิ้งออกไป กับ Effluent = $Q_e X_e$ (2.42)

ปริมาณของตะกอนจุลินทรีย์ที่ลดลงเนื่องจาก

Endogenous respiration = $k_d XV$ (2.43)

ดังนั้นสามารถคำนวณหาค่า θ_c โดยใช้สมการข้างต้น

$$\theta_c = \frac{XV}{Q_w X_R + Q_e X_e + k_d XV} \quad (2.44)$$

ถ้าระบบมีการถ่ายตะกอนทิ้งออกจากถังปฏิกิริยาโดยตรงดังแสดงในรูปที่ 2.7 สมการ (2.44) สามารถเปลี่ยนให้เป็นสมการ (2.45)

$$\theta_c = \frac{XV}{Q_w X + Q_e X_e + k_d XV} \quad (2.45)$$

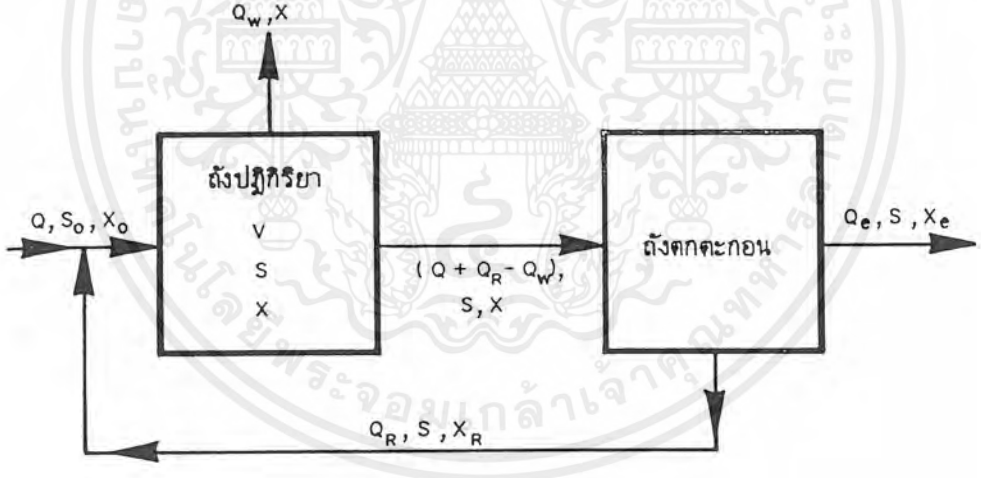
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าไม่พิจารณา Endogenous respiration คือ $k_d = 0$

สมการ (2.44) และ (2.45) จะเปลี่ยนเป็นสมการ (2.46) และ (2.47) ตามลำดับ

$$\theta_c = \frac{XV}{Q_w X_R + Q_e X_e} \tag{2.46}$$

$$\theta_c = \frac{XV}{Q_w X + Q_e X_e} \tag{2.47}$$



รูปที่ 2.7 ถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่องที่มีการไหลวนกลับ โดยมีระบบถ่ายตะกอนทิ้งออกจากถังปฏิกิริยา

ค่า θ_c หรือเวลาเก็บกักจุลินทรีย์ หรือที่หลายคนเรียกว่า อายุตะกอนจุลินทรีย์ เป็นค่าที่มีไว้ใช้ในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีชีววิทยาทั่วไป ค่า θ_c มีไว้ใช้สำหรับการควบคุม การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจริญเติบโตของจุลินทรีย์บ่งบอกถึงความสามารถในการย่อยสลายน้ำเสียของจุลินทรีย์และยังสามารถทราบถึงปริมาณจุลินทรีย์ที่ต้องการถ่ายทิ้งออกต่อวัน

2.2.3 **ถังปฏิกิริยาแบบปลั๊กโฟลว์** (Plug-Flow Reactor)

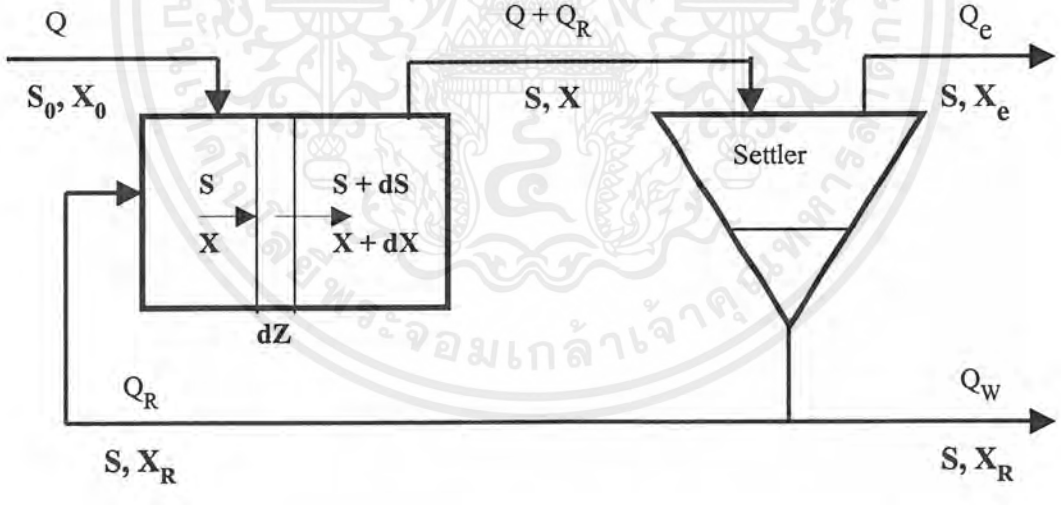
ถังปฏิกิริยาแบบปลั๊กโฟลว์เป็นถังปฏิกิริยาที่มีรูปร่างคล้ายท่อคือมีความยาวมากกว่าความกว้างมากๆ ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์จะกำหนดข้อ สมมุติฐานขึ้นดังต่อไปนี้

ก) ความเร็วของน้ำไหลจะคงที่ตลอดความยาวของถัง

ข) ไม่เกิดการกวนขึ้นตลอดความยาวของถัง

ค) เวลาเก็บกักของทุกๆ ส่วนของน้ำมีเท่ากันสม่ำเสมอ

ดังนั้นในการวิเคราะห์ระบบถังปฏิกิริยาแบบนี้ จำเป็นต้องอาศัยการพิจารณาแบบเป็นส่วนๆ รูปที่ 2.8 ได้แสดงระบบถังปฏิกิริยาแบบปลั๊กโฟลว์ที่มีการไหลวนกลับ



รูปที่ 2.8 ระบบถังปฏิกิริยาแบบปลั๊กโฟลว์ที่มีการไหลวนกลับ

จากสมการดุลมวลของสาร จะพิจารณาเฉพาะภายในถังเติมอากาศ

มวลเข้า - มวลออก = 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ณ สภาวะคงที่สำหรับสมการดุลมวลของสารอินทรีย์

$$(Q+Q_R)S-(Q+Q_R)(S+dS)-\frac{\mu_m XS}{Y(K_s+S)}dV=0 \qquad (2.48)$$

กำหนดให้ $\frac{Q_R}{Q}=R$

$$Q(1+R)dS+\frac{\mu_m XS}{Y(K_s+S)}dV=0 \qquad (2.49)$$

ณ สภาวะคงที่สำหรับสมการดุลมวลของจุลินทรีย์

$$-Q(1+R)dX+\left(\frac{\mu_m XS}{(K_s+S)}-k_d X\right)dV=0 \qquad (2.50)$$

$$Q(1+R)dX-\left(\frac{\mu_m XS}{(K_s+S)}-k_d X\right)dV=0 \qquad (2.51)$$

จากสมการดุลมวลของสารตั้งต้นสามารถพิจารณาในเทอมของความยาวของถัง (Z)

$$dV=Adz \qquad (2.52)$$

เมื่อ A = พื้นที่หน้าตัดของถัง

Z = ความยาวของถัง

แทนค่า dV ลงในสมการ (2.49) และ (2.51) จะได้

$$Q(1+R)dS+\frac{\mu_m XS}{Y(K_s+S)}Adz=0 \qquad (2.53)$$

$$Q(1+R)dX-\left(\frac{\mu_m XS}{(K_s+S)}-k_d X\right)Adz=0 \qquad (2.54)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาสมการดุลมวลของสารอินทรีย์บริเวณทางเข้าของถังปฏิกิริยา

$$QS_0 + Q_R S = (Q + Q_R)S_I \tag{2.55}$$

$$QX_0 + Q_R X_R = (Q + Q_R)X_I \tag{2.56}$$

ณ บริเวณทางเข้าของถังปฏิกิริยา $(z = 0)$

$$S_I = \frac{S_0 + RS}{1 + R} \tag{2.57}$$

$$X_I = \frac{X_0 + RX_R}{1 + R} \tag{2.58}$$

สมการตั้งต้นสามารถทำการอินทิเกรต ได้โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ วิเคราะห์หา ซึ่งจำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับ Numerical Methods ช่วยในการวิเคราะห์หาต่อไป

ถ้าพิจารณาว่า จำนวนจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้น จากปฏิกิริยาชีวเคมี ในถังปฏิกิริยาน้อยมากเปรียบเทียบจำนวนจุลินทรีย์ที่ไหลเข้า สู่ถังปฏิกิริยาทำให้ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ตลอดความยาวของถังปฏิกิริยามีค่าเท่ากับ X_a

แทนค่า X_a ลงในสมการ (2.53) จะได้

$$Q(1 + R)dS + \frac{\mu_m X_a S}{Y(K_s + S)} Adz = 0 \tag{2.59}$$

ทำการ อินทิเกรต สมการ (2.59) จะได้

$$(S_I - S) + K_s \ln \frac{S_I}{S} = \frac{\mu_m X_a AZ}{YQ(1 + R)} \tag{2.60}$$

สำหรับการคำนวณหาค่า $(X - X_I)$ สามารถประมาณค่าได้โดยอาศัยสมการ (2.54)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q(1+R)dX - \frac{\mu_m XSAdz}{(K_s + S)} + k_d XAdz = 0 \qquad (2.61)$$

ถ้าแทนค่า $(S_i - S)$ จากสมการ (2.60) ลงในสมการ (2.61) จะได้

$$(X - X_i) = \frac{\mu_m X_a AZ}{Q(1+R)} - YK_s \ln\left(\frac{S_i}{S}\right) - \frac{k_d X_a AZ}{Q(1+R)} \qquad (2.62)$$

เวลาเก็บกักของน้ำเสีย

โดยทั่วไปถังปฏิกิริยาแบบปล๊กโฟลว์จะมีระบบนำตะกอนจุลินทรีย์แบบไหลวนกลับเพื่อรักษาระดับความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกิริยาให้เพียงพอตลอดเวลา ส่วนใหญ่แล้วน้ำเสียจะมีปริมาณตะกอนจุลินทรีย์น้อยมาก ทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆในน้ำเสียมีน้อย ซึ่งถ้าไม่มีระบบนำตะกอนจุลินทรีย์ไหลวนกลับโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับถังปฏิกิริยาแบบปล๊กโฟลว์

ค่าเวลาเก็บกักของน้ำเสียที่ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ไหลออกหมดจนกระทั่งไม่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำเสีย ดังแสดงในสมการ

$$\theta_w = \frac{(1+R)(S_0 + K_s)}{\mu_m S_0 - k_d(S_0 + K_s)} \ln\left(\frac{1+R}{R\beta}\right) \qquad (2.63)$$

เมื่อ θ_w คือ เวลาเก็บกักของน้ำเสียในถังปฏิกิริยา

$$\beta = \frac{X_R}{X}$$

จากสมการ (2.63) สามารถสรุปออกมาได้ดังนี้

ก) เมื่อเวลาเก็บกักของน้ำเสียมีน้อยกว่า หรือเท่ากับ θ_w ณ สภาวะคงที่ จะไม่มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย หรือถ้ามีก็น้อยมาก

ข) ถ้าไม่มีระบบการนำตะกอนจุลินทรีย์ไหลวนกลับ $(Q_R = 0)$ จะเกิดการไหลทิ้งของตะกอนจุลินทรีย์ออกจากถังปฏิกิริยา แม้ว่า θ_w จะมีค่ามากหรือน้อยเพียงไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาเก็บกักของจุลินทรีย์ θ_c

ในการวิเคราะห์หาเวลาเก็บกักของจุลินทรีย์ θ_c สำหรับถังปฏิกิริยาแบบปล๊กโฟลว์จำเป็นต้องใช้คณิตศาสตร์ที่ยุ่งยากซับซ้อน ซึ่งได้ตั้งสมมุติฐานมา 2 ข้อ เพื่อช่วยให้การวิเคราะห์ง่ายขึ้น ดังนั้นจึงได้ผลของการวิเคราะห์ดังนี้

1.ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในน้ำเสียมีค่าเท่ากับปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ของน้ำทิ้ง เมื่อมีค่า θ_c/θ มากกว่า 5

2. อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียของถังปฏิกิริยา (r_{su}) มีค่าเท่ากับแสดงในสมการ (2.64)

$$r_{su} = \frac{-kSX_a}{(K_s + S)} \qquad (2.64)$$

หลังจากนำข้อสมมุติฐานทั้ง 2 ข้อมาใช้ในการวิเคราะห์ หาค่าθ_c จะได้สมการ (2.65) สำหรับขั้นตอนในการวิเคราะห์ สามารถศึกษาได้ในเอกสารทางวิชาการที่ได้กล่าวอ้างอิงข้างต้น

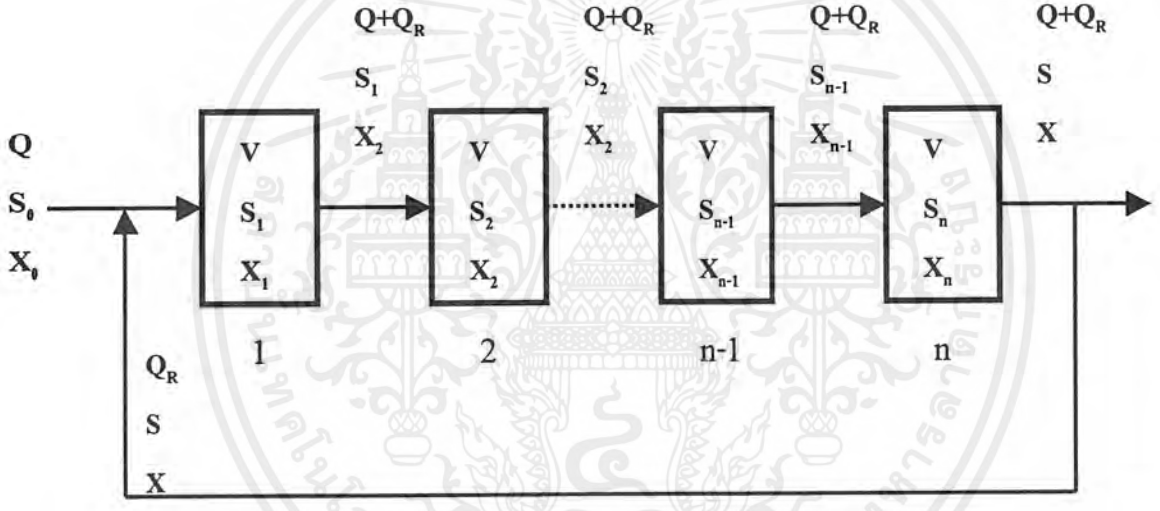
$$\frac{1}{\theta_c} = \frac{Yk(S_0 - S)}{(S_0 - S) + (1+R)K_s \ln(\frac{S_1}{S})} - k_d \qquad (2.65)$$

ถังปฏิกิริยาแบบปล๊กโฟลว์ในทางปฏิบัติไม่สามารถสร้างขึ้นได้จึงทำให้วิศวกรสิ่งแวดล้อมไม่นิยมใช้ข้อมูลของถังปฏิกิริยาแบบปล๊กโฟลว์ มาออกแบบและควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย แม้ว่าประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย โดยใช้ถังปฏิกิริยาแบบปล๊กโฟลว์จะสูงกว่าถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่อง และอีกสาเหตุหนึ่งคือถังปฏิกิริยาแบบปล๊กโฟลว์ไม่สามารถรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงกว่าปกติหรือน้ำเสียที่คุณลักษณะแปรเปลี่ยนบ่อยๆ ได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับระบบถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่อง เพราะว่าทันทีที่ น้ำเสียมีคุณลักษณะต่างจากปกติ เมื่อไหลเข้าสู่ถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่อง จะถูกลดความรุนแรงลงทันทีดังนั้นเพื่อให้การบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพสูงสม่ำเสมอ วิศวกรอาจเลือกระบบถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่องแต่แบ่งออกเป็นถังขนาดเล็กหลายถังวางเรียงแบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 ถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่องที่วางเรียงกันแบบอนุกรม (Continuous Stirred Tank Reactor in Series)

ถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่องที่วางเรียงกันแบบอนุกรม สามารถบำบัดน้ำเสียได้มีประสิทธิภาพสูงกว่าถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่องที่มีเพียงถังเดียว เมื่อทั้งสองระบบ มีถังปฏิกิริยาขนาดเท่ากัน ระบบถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่องที่วางเรียงกันแบบอนุกรมเป็นระบบที่นิยมใช้กันมาก ดังนั้นการวิเคราะห์ระบบนี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับงานวิจัยและงานคำนวณออกแบบ



รูปที่ 2.9 ถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่องที่วางเรียงกันแบบอนุกรม

จากรูปที่ 9 ได้แสดงถังปฏิกิริยาที่มีปริมาตร V จัดเรียงกันแบบอนุกรม โดยมีทั้งหมด n ถัง และจะมีระบบนำตะกอนจุลินทรีย์ไหลวนกลับสู่ระบบถังปฏิกิริยา

จากสมการดุลมวลสามารถเขียนสมการดุลมวลของสารอินทรีย์และตะกอนจุลินทรีย์ได้ดังต่อไปนี้

$$V_n \frac{dS_n}{dt} = Q(1+R)S_{n-1} - Q(1+R)S_n - \frac{kS_nX_nV_n}{(K_s + S_n)} \qquad (2.66)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_n \frac{dX_n}{dt} = Q(1+R)X_{n-1} - Q(1+R)X_n - \frac{kYS_nX_nV_n}{(K_s+S_n)} - k_dX_nV_n \quad (2.67)$$

กำหนดให้ $\theta_n = \frac{V_n}{Q}$ และนำสมการ (2.66) และสมการ (2.67) หารด้วย V_n ตลอด

$$\frac{dS_n}{dt} = \frac{(1+R)}{\theta_n}[S_{n-1} - S_n] - \frac{kS_nX_n}{(K_s+S_n)} \quad (2.68)$$

$$\frac{dX_n}{dt} = \frac{(1+R)}{\theta_n}[X_{n-1} - X_n] - \frac{kYS_nX_n}{(K_s+S_n)} - k_dX_n \quad (2.69)$$

ณ สภาวะคงที่ $\frac{dS}{dt} = 0$ และ $\frac{dX}{dt} = 0$ จะได้

$$(S_{n-1} - S_n) = \frac{kS_nX_n\theta_n}{(K_s+S_n)(1+R)} \quad (2.70)$$

$$(X_{n-1} - X_n) = -\frac{kYS_nX_n\theta_n}{(K_s+S_n)(1+R)} + \frac{k_dX_n\theta_n}{(1+R)} \quad (2.71)$$

จากสมการดุลมวลของสารอินทรีย์ พิจารณาทางเข้าของถังปฏิกิริยาถังแรก

$$(Q+Q_R)S_I = QS_0 + Q_RS \quad (2.72)$$

$$S_I = \frac{S_0 + RS}{(1+R)} \quad (2.73)$$

$$(Q+Q_R)X_I = QX_0 + Q_RX_R \quad (2.78)$$

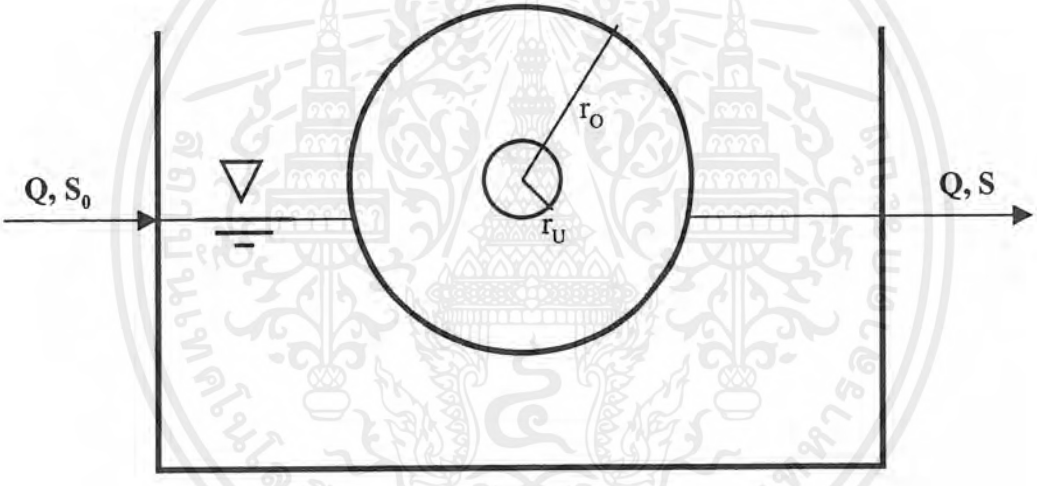
$$X_I = \frac{X_0 + RX_R}{(1+R)} \quad (2.79)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 ถังปฏิกิริยาอาร์บีซี (ROTATING BIOLOGICAL CONTACTOR)

ถังปฏิกิริยาแบบนี้ประกอบด้วยตัวกลางแบบต่างๆ ถูกบรรจุอยู่ในภาชนะที่น้ำไหลเข้าออกได้สะดวก ซึ่งทั้งหมดจะถูกรับไว้ด้วยแกนที่ควบคุมการหมุนด้วยมอเตอร์โดยทั่วไปจะหมุนด้วยความเร็วประมาณ 1-2 รอบต่อนาที บางส่วนของตัวกลางจะถูกจุ่มลงในน้ำ และขณะเดียวกันตัวกลางอีกส่วนหนึ่งโผล่ขึ้นมาอยู่บนผิวน้ำ ทำให้จุลินทรีย์ที่เกาะอยู่บนผิวตัวกลางได้รับสารอินทรีย์จากน้ำเสีย และได้รับออกซิเจนจากอากาศสลับกันไปตามการหมุนของตัวกลาง

สำหรับการวิเคราะห์ระบบอาร์บีซี จะพิจารณาทั้งจุลินทรีย์ที่เกาะอยู่บนผิวตัวกลางและจุลินทรีย์ที่ลอยอยู่ในน้ำ รูปที่ 2.10 ได้แสดงรูปประกอบสำหรับช่วยในการวิเคราะห์ระบบได้ง่ายขึ้น



รูปที่ 2.10 ถังปฏิกิริยาแบบอาร์บีซี

จากสมการดุลมวลของสารอินทรีย์สามารถเขียนได้ดังต่อไปนี้

$$\left(\frac{dS}{dt}\right)V = QS_0 - QS_e - \left(\frac{dS}{dt}\right)_S V_s - \left(\frac{dS}{dt}\right)_A V_A \qquad (2.80)$$

เมื่อ $\left(\frac{dS}{dt}\right)_A$ คือ อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่อปริมาตรของเมือกจุลินทรีย์ที่เกาะบนผิวตัวกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\left(\frac{dS}{dt}\right)_S$ คือ อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่อปริมาตรของน้ำในถังปฏิกิริยา

V_S คือ ปริมาตรของน้ำในถังปฏิกิริยา

V_A คือ ปริมาตรของเมือกจุลินทรีย์ที่เกาะบนผิวตัวกลาง

V คือ ปริมาตรของน้ำในถังปฏิกิริยา ($V = V_S$)

แทนค่า $\left(\frac{dS}{dt}\right) = \frac{\mu X}{Y}$ ลงในสมการ (2.80)

$$\left(\frac{dS}{dt}\right)V = QS_0 - QS_e - \left(\frac{\mu_S X_S}{Y_S}\right)V_S - \left(\frac{\mu_A X_A}{Y_A}\right)V_A \qquad (2.81)$$

X_S คือ ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์แขวนลอย ของน้ำในถังปฏิกิริยา

X_A คือ ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่เกาะบนผิวตัวกลาง

$V_A = (a)(T) =$ (พื้นที่ผิวของตัวกลาง)(ความหนาโดยเฉลี่ยของเมือกจุลินทรีย์)

(2.82)

$$A = 2\pi(r_0^2 - r_u^2)n \qquad (2.83)$$

$$V_A = 2\pi(r_0^2 - r_u^2)nT \qquad (2.84)$$

เมื่อ n คือ จำนวนแผ่นตัวกลางที่ใช้ในระบบ

เมื่อระบบบำบัดอยู่ในสภาวะคงที่จะได้ $\left(\frac{dS}{dt}\right) = 0$

$$0 = QS_0 - QS_e - \frac{X_S V_S \mu_m S_e}{Y_S(K_S + S_e)} - \frac{X_A \mu_m S_e (2\pi(r_0^2 - r_u^2)nT)}{Y_A(K_S + S_e)} \qquad (2.85)$$

สมการ (2.85) พิจารณาทั้งจุลินทรีย์ที่เกาะบนผิวตัวกลาง และจุลินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในระบบบำบัดแต่เมื่อพิจารณาเฉพาะจุลินทรีย์ที่เกาะบนผิวตัวกลาง โดยไม่คำนึงถึงจุลินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในระบบบำบัด เนื่องจากปริมาณของจุลินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในระบบนี้มีน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของจุลินทรีย์ที่เกาะบนผิวตัวกลาง ทำให้ได้เป็นสมการ (2.86)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q(S_0 - S_e) = \frac{2\pi(r_0^2 - r_u^2)nTX_A\mu_m S_e}{Y_A(K_S + S_e)} \quad (2.86)$$

โดยทั่วไประบบอาร์บีซีจะมีอยู่หลายถังวางเรียงกันแบบอนุกรม ทำให้สมการ (2.86) สามารถเขียนได้ใหม่เป็นสมการ (2.87)

$$Q(S_0 - S_e) = \left(\frac{2\pi(r_0^2 - r_u^2)nTX_A\mu_m}{Y_A}\right)\sum_{j=1}^{N}\frac{S_{ej}}{(K_S + S_{ej})} \quad (2.87)$$

ในเมื่อ $S_{en} = BOD$ หรือ COD ของน้ำที่ได้ผ่านถังสุดท้ายแล้ว

$S_{ej} = BOD$ หรือ COD ของน้ำที่ได้ผ่านถังที่ j แล้ว

ทำให้รูปสมการให้ดูง่ายขึ้น กำหนดให้ $P = \frac{TX_A\mu_m}{Y_A}$ ทำให้สมการ (2.87) และสามารถเขียนใหม่ เป็นสมการ (2.88) และ (2.89) ตามลำดับ

สำหรับระบบที่มีเพียงถังเดียว

$$Q(S_0 - S_e) = AP\left(\frac{S_e}{K_S + S_e}\right) \quad (2.88)$$

สำหรับระบบที่มีหลายถังวางเรียงกันแบบอนุกรม

$$Q(S_0 - S_e) = AP\left(\sum_{j=1}^{N}\frac{S_{ej}}{K_S + S_{ej}}\right) \quad (2.89)$$

$$Q(S_{ej} - S_{ej+1}) = AP\left(\frac{S_{ej+1}}{K_s + S_{ej+1}}\right) \quad (2.90)$$

หลังจากได้สมการสำหรับการคำนวณออกแบบระบบแล้ว เนื่องจากในสมการข้างบนมีค่าที่ต้องการทราบคือ P และ K_S สำหรับน้ำเสียแต่ละประเภท และชนิดของตัวกลางที่ใช้ ดังนั้นค่า P และ K_S สามารถหาได้จากภาคปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ระบบเติมอากาศ

ระบบเติมอากาศที่ใช้ในการเติมอากาศมี 2 ประเภทใหญ่ คือ 1 ระบบเติมอากาศแบบเครื่องกล และ 2 ระบบเติมอากาศแบบนิวเมติก

ก) ระบบเติมอากาศแบบเครื่องเครื่องกล

ระบบนี้ประกอบด้วยเครื่องยนต์หนึ่งมอเตอร์ที่ทำการหมุนแผ่นตีน้ำโดยตัวเครื่องเติมอากาศจะติดตั้งอยู่บนผิวน้ำซึ่งอาจยึดติดกับโครงสร้างของถังเติมอากาศ หรือลอยอยู่บนผิวน้ำด้วยตัวลอย ในการเติมอากาศนี้จะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ลักษณะน้ำเสีย ค่าระดับของถังเติมอากาศ เปรียบเทียบกับระดับน้ำทะเล อุณหภูมิของน้ำ ปริมาณออกซิเจนที่ต้องการ เป็นต้น

ข) ระบบเติมอากาศแบบนิวเมติก

เป็นระบบเติมอากาศที่นิยมใช้กันมากในถังเติมอากาศทั่วไปโดยอาศัยเครื่องอัดอากาศเป็นตัวเป่าอากาศเข้าไปในท่อและจ่ายออกทางหัวจ่ายใต้น้ำ หัวจ่ายอากาศโดยทั่วไปพบว่ามีประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนลงในน้ำจะมีประมาณ 5 – 8 เปอร์เซ็นต์ และ 7 – 12 เปอร์เซ็นต์ สำหรับฟองอากาศขนาดใหญ่ และเล็กตามลำดับ โดยทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับปริมาณอากาศที่เป่าเข้าไปด้วย คือยิ่งมีอากาศที่เป่าลงไปมากเกินไปจะมีผลให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนลดลงด้วย ในการคำนวณกำลังที่ใช้ในการเติมอากาศควรพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ ดังนี้ ขนาดความลึกของน้ำในถังเติมอากาศ ขนาดท่อจ่ายอากาศ ความยาวหัวจ่ายอากาศ

เครื่องอัดอากาศ

เครื่องอัดอากาศที่ใช้สำหรับจ่ายอากาศให้แก่ระบบหัวฟู่ โดยปกติมีด้วยกัน 2 แบบ คือ

ก) เครื่องอัดอากาศแบบหอยโข่ง

จะเป็นแบบที่สามารถให้ความดันได้ถึง 0.5 – 0.68 ความดันบรรยากาศและสามารถจ่ายอากาศได้ดีสำหรับปริมาณอากาศมากกว่า 120 ลบ.ม. ต่อนาทีดังนั้นจึงนิยมใช้ในโรงงานบำบัดน้ำเสียขนาดใหญ่

ข) เครื่องอัดอากาศแบบกระจัด

จะเป็นแบบที่สามารถให้ความดันได้ดีสำหรับระดับความดันที่สูงกว่า 0.4 – 0.5 ความดันบรรยากาศและสามารถจ่ายอากาศได้ดีสำหรับปริมาณอากาศน้อยกว่า 140 ลบ. ม. ต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ถังตกตะกอน

ถังตกตะกอนมีความสำคัญมากในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย เพราะจะทำหน้าที่แยกสลัดจ์ที่มาจากถังเติมอากาศด้วยถังตกตะกอนโดยปกติ ถังตกตะกอนนี้จะมีน้ำไหลเข้าและออก และจะมีสลัดจ์บริเวณก้นถังถูกสูบกลับไปที่ถังเติมอากาศอีกครั้งและบางส่วนถูกถ่ายทิ้งออกไปเพื่อนำไปบำบัดและกำจัดตะกอนสลัดจ์ ดังนั้นในการออกแบบถังตกตะกอนไม่สามารถใช้สามารถวิธีการออกแบบเช่นเดียวกับถังตกตะกอนแรก

ต่อไปนี้เป็นเกณฑ์ในการออกแบบ และข้อควรพิจารณาในการออกแบบถังตกตะกอนสำหรับระบบตะกอนเร่ง

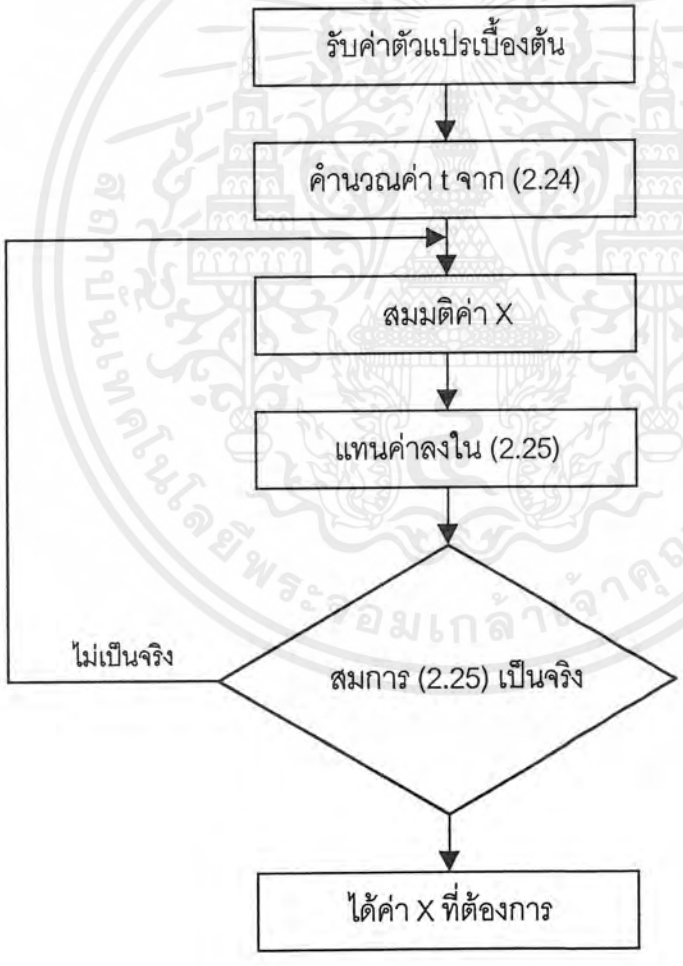
1. ควรใช้ค่าอัตราไหลเข้าสูงสุดของน้ำเสียโดยจะไปใช้กับการคำนวณค่าอัตราน้ำล้นบนพื้นผิวของถัง ค่าอัตราภาระฝายและค่าอัตราภาระของแข็ง
2. ถ้าใช้ถังรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือถังรูปทรงกลม ขนาดความยาวหรือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถังควรมีค่าไม่เกินกว่า 10 เท่าของความลึกของน้ำในถัง
3. ระบบถ่ายเทสลัดจ์ที่ออกจากถังตกตะกอนพบว่า ระบบท่อดูดสลัดจ์ออกโดยอาศัยแรงดันของน้ำในถังเป็นวิธีที่เหมาะสมดี
4. บริเวณทางเข้าของถังตกตะกอนเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าควรมีความเร็วน้ำที่เข้าไม่เกิน 0.5 เมตรต่อวินาที
5. บริเวณทางเข้าของถังตกตะกอนเป็นแบบวงกลมจะมีแผ่นกั้นวงกลมติดตั้งไว้ส่วนกลางของถังตกตะกอนซึ่งมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.15 – 0.20 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถังตกตะกอน
6. ค่าอัตราภาระของแข็งควรมีประมาณ 2.5 และ 6.2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร.ชั่วโมง ณ อัตราไหลเข้าโดยเฉลี่ยและสูงสุด ตามลำดับ
7. ค่าอัตราน้ำล้นของถัง ณ อัตราไหลเข้าสูงสุดโดยไม่ได้รวมถึงปริมาณสลัดจ์ที่ไหลวนกลับเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบขนาดของถังตกตะกอนโดยพิจารณาถึงความเข้มข้นของน้ำสลัดจ์และปริมาณสลัดจ์ที่ไหลวนกลับ
8. อัตราภาระฝายควรมีค่าต่ำกว่า 370 ลบ.ม. ต่อ เมตร.วัน เมื่อติดตั้งฝายห่างจากขอบถังอย่างน้อย 3.5 เมตร และมีค่าต่ำกว่า 250 ลบ.ม. ต่อ เมตร.วัน เมื่อตั้งฝายเกือบใกล้ชิดขอบถัง ทั้งนี้ต้องเป็นค่าที่คำนวณจากค่าอัตราการไหลเข้าสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

แผนภูมิและขั้นตอนการเขียนโปรแกรม

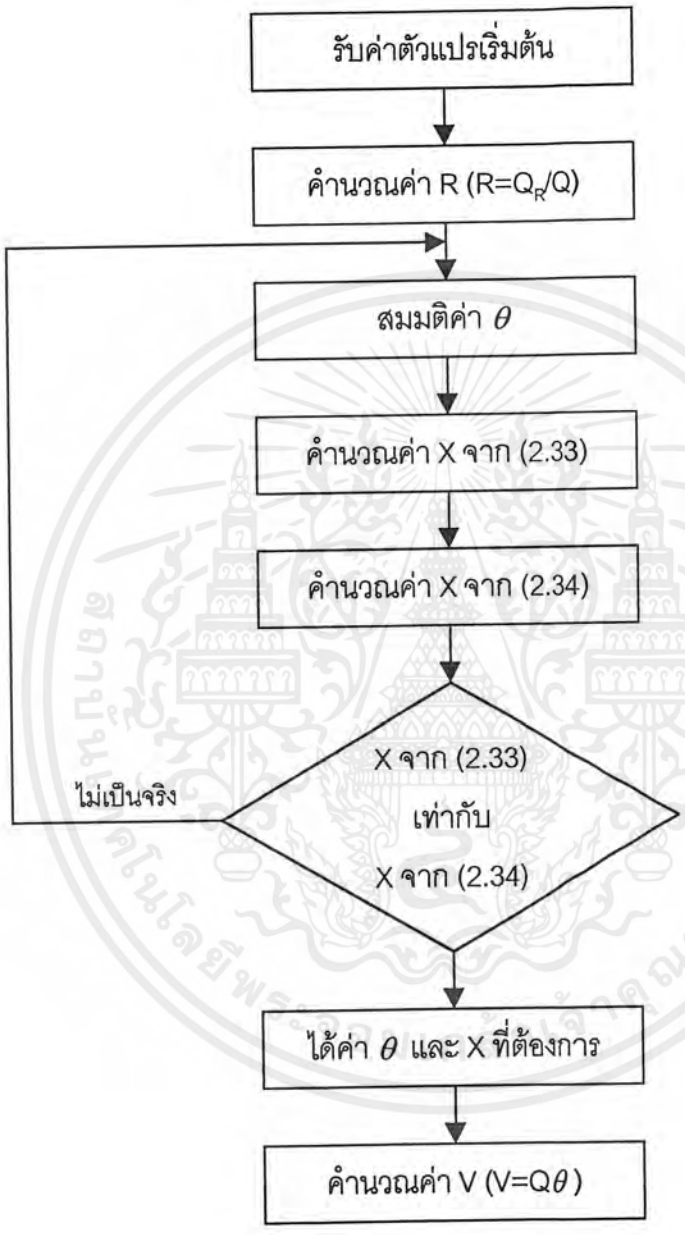
3.1 ถังปฏิกิริยาแบบแบทช์



รูปที่ 3.1 แผนภูมิการคำนวณของถังปฏิกิริยาแบบแบทช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

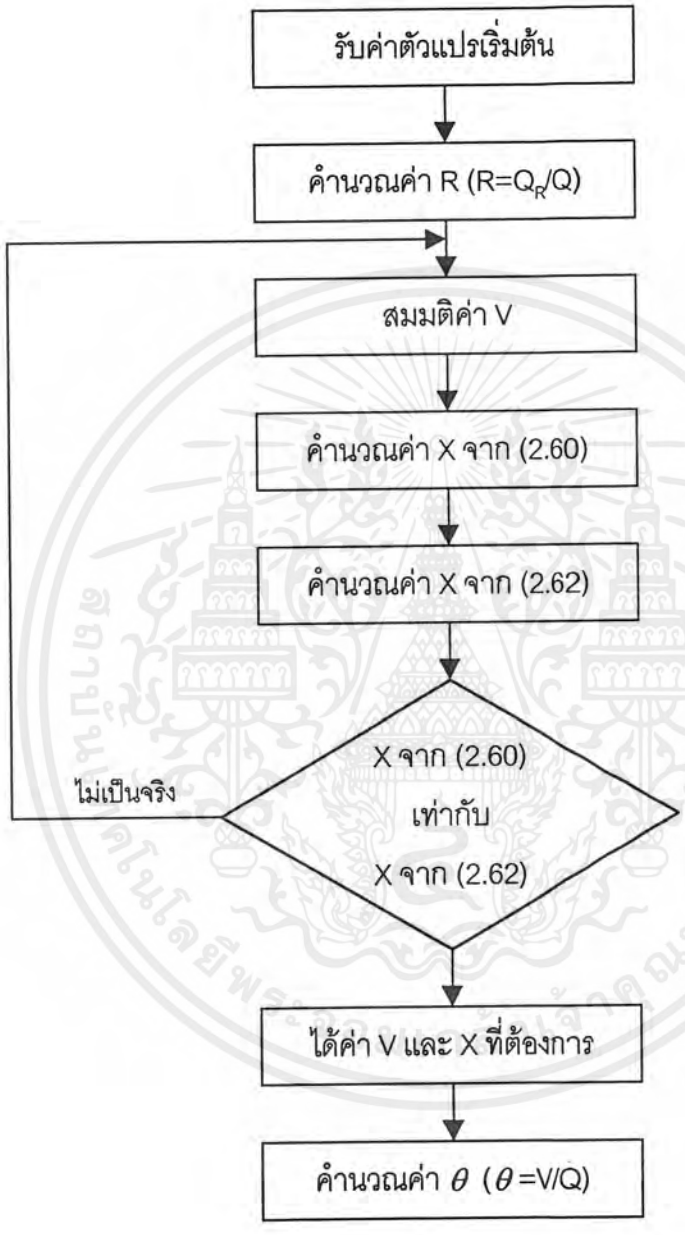
3.2 ถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่อง



รูปที่ 3.2 แผนภูมิการคำนวณของถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

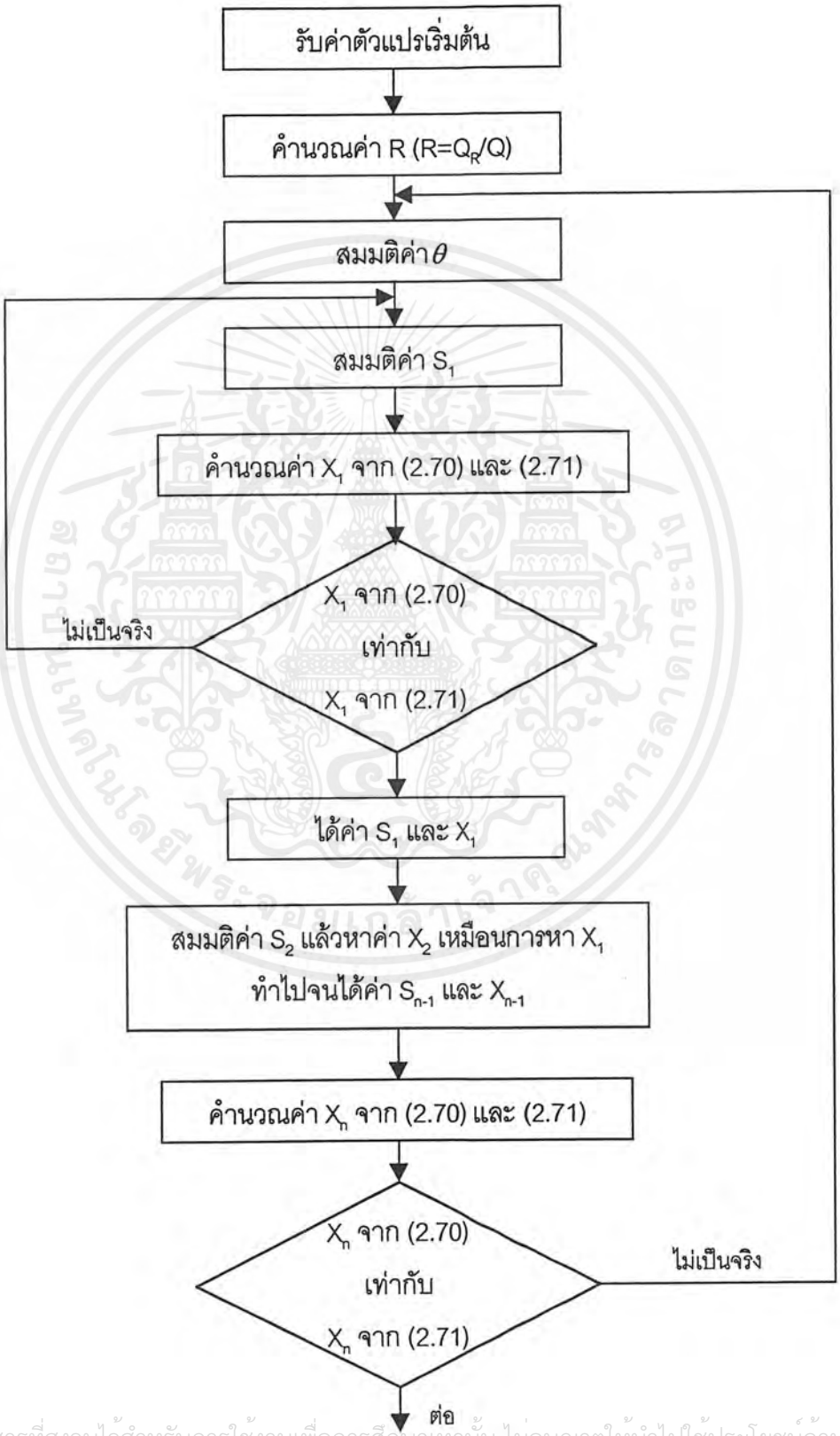
3.3 ถังปฏิกิริยาแบบปลั๊กโฟลว์



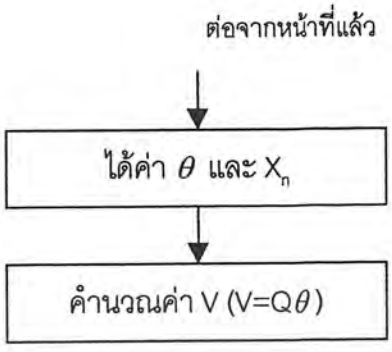
รูปที่ 3.3 แผนภูมิการคำนวณของถังปฏิกิริยาแบบปลั๊กโฟลว์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่องที่วางเรียงกันแบบอนุกรม



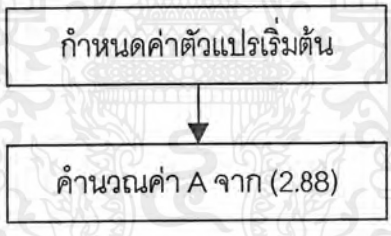
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แผนภูมิการคำนวณของถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่องที่วางเรียงกันแบบอนุกรม

3.5 ถังปฏิกิริยาแบบอาร์บีซี

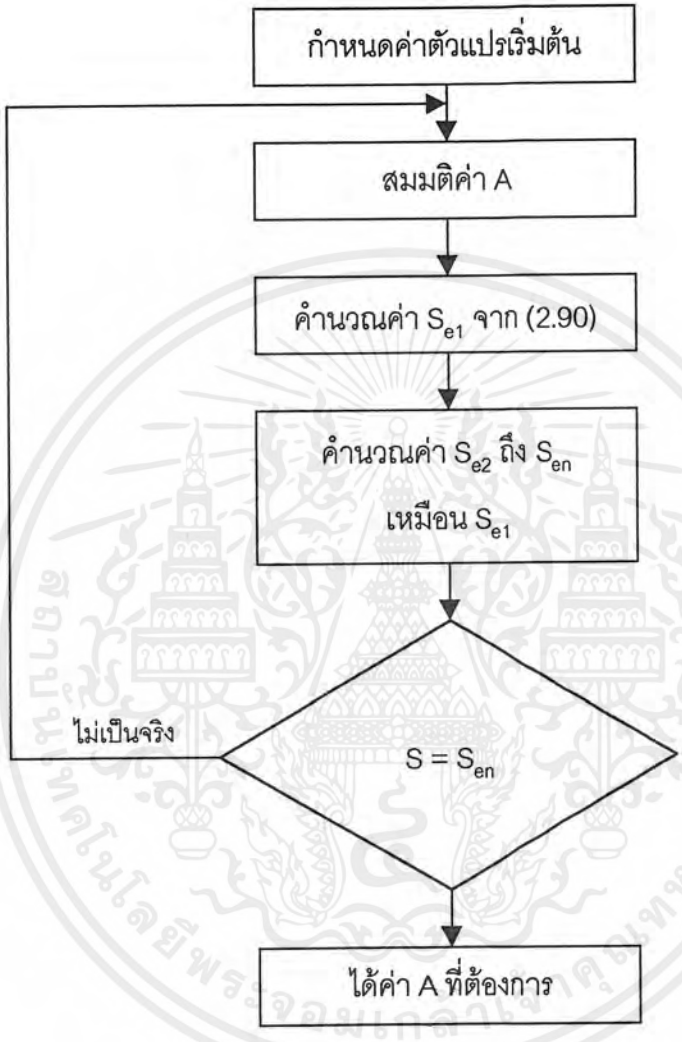
สำหรับ n = 1



รูปที่ 3.5 แผนภูมิการคำนวณของถังปฏิกิริยาแบบอาร์บีซี สำหรับ n = 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ n > 1



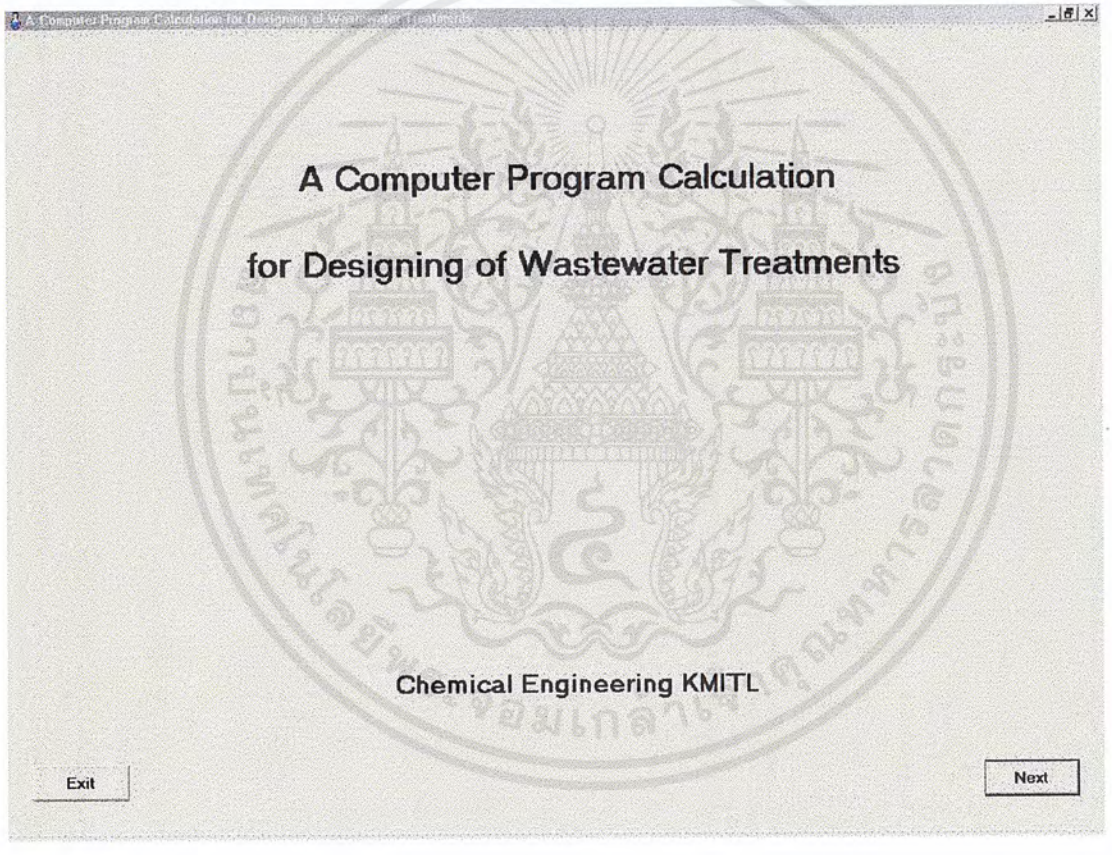
รูปที่ 3.6 แผนภูมิการคำนวณของถังปฏิกิริยาแบบซาร์บีซี สำหรับ n > 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

รูปแบบโปรแกรม

การใช้งานของโปรแกรม

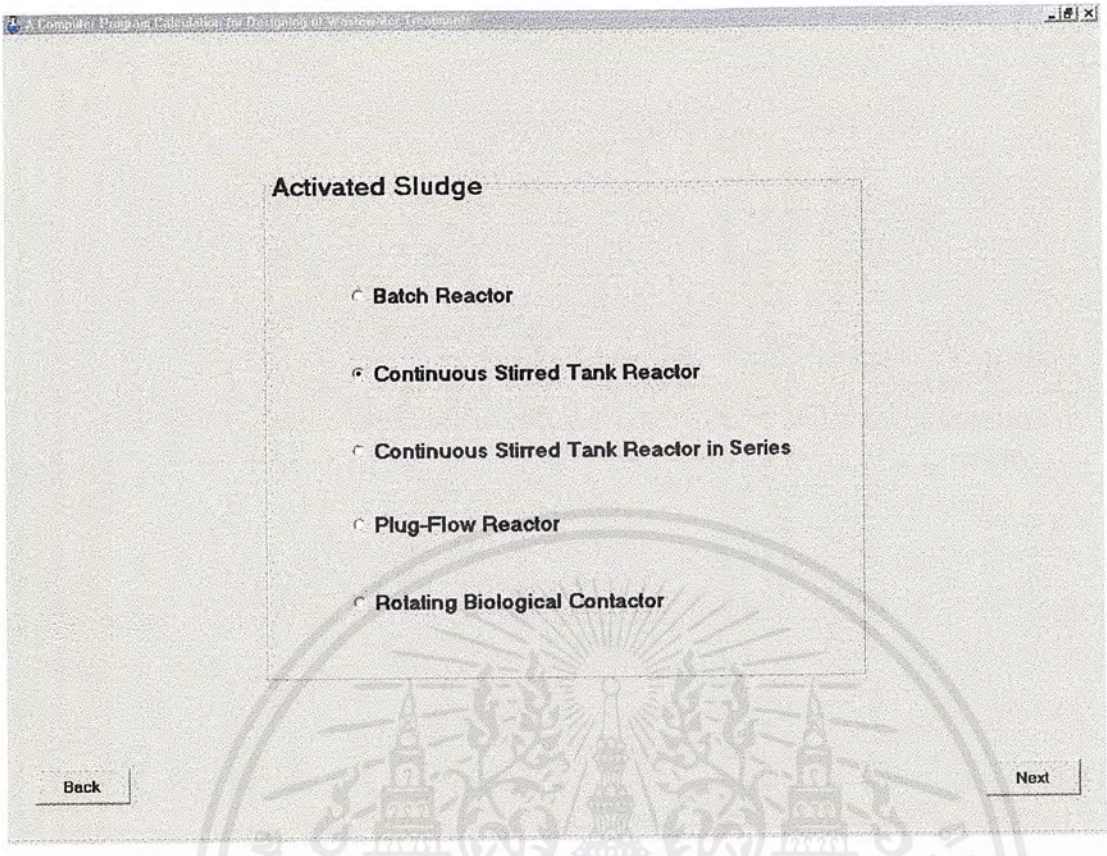


รูปที่ 4.1 หน้าจอแรกของโปรแกรม

จากรูป 4.1 จะแสดงหัวข้อของโปรแกรม

Next	ไปยังหน้าจอถัดไป
Exit	ออกจากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



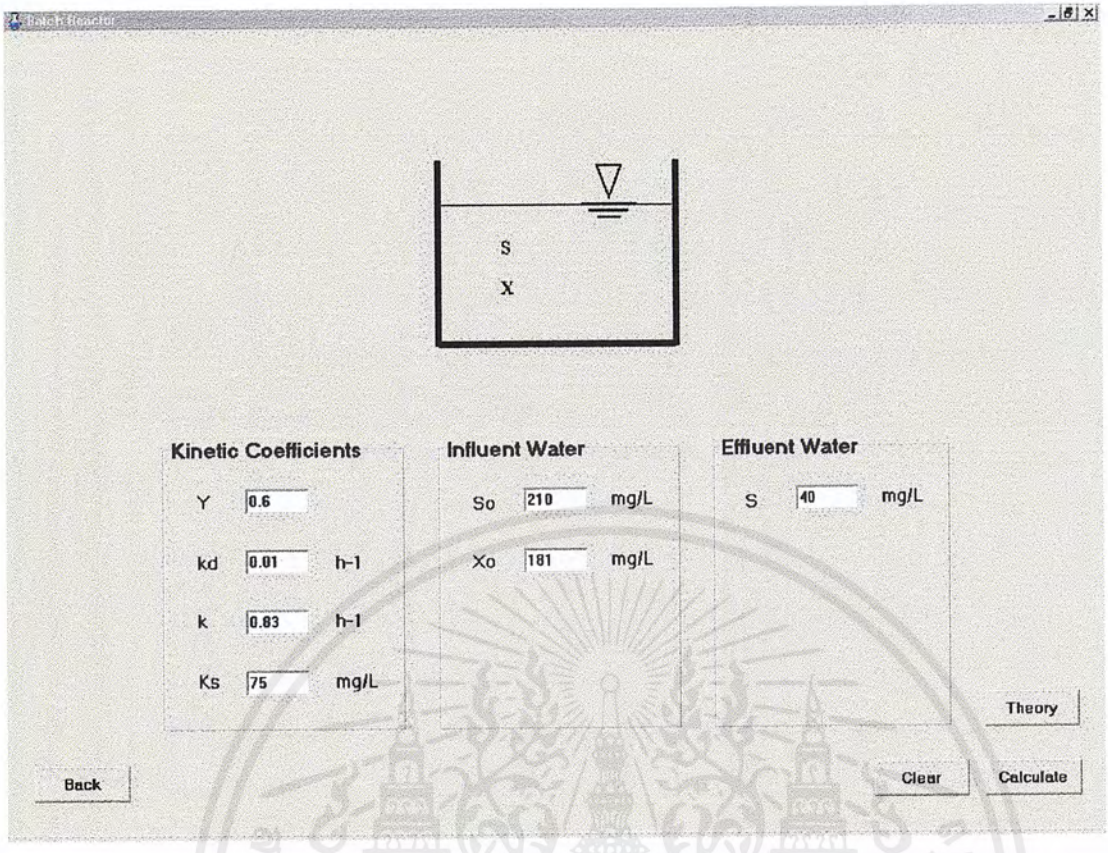
รูปที่ 4.2 รายการหลักของโปรแกรม

จากรูป 4.2 จะแสดงประเภทของถังปฏิกิริยาให้ผู้ใช้เลือกได้ 5 หัวข้อ ได้แก่

1. ถังปฏิกิริยาแบบแบทช์
2. ถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่อง
3. ถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่องที่วางเรียงกันแบบอนุกรม
4. ถังปฏิกิริยาแบบปลั๊กโฟลว์
5. ถังปฏิกิริยาแบบอาร์บีซี

Next	ส่งไปคำนวณในประเภทที่เลือกไว้
Back	กลับไปยังหน้าจอแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

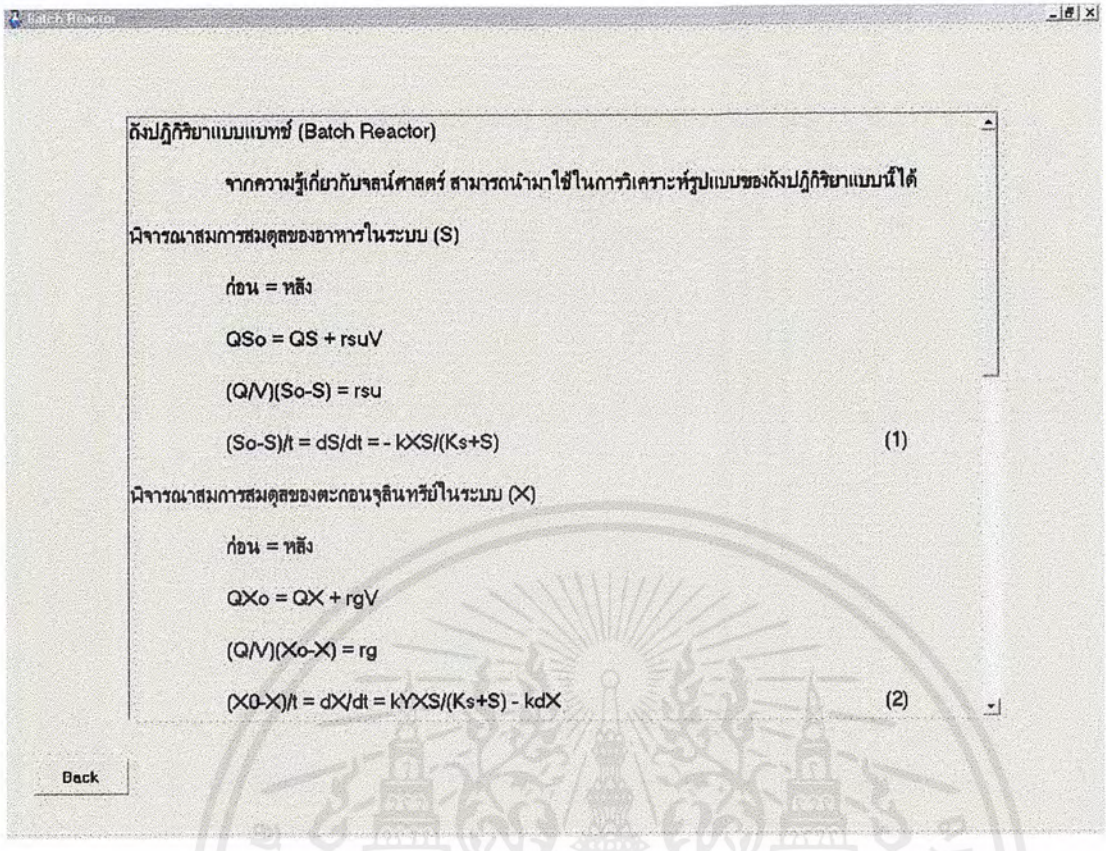


รูปที่ 4.3 หน้าจอรับค่าตัวแปรสำหรับถังปฏิกิริยาแบบแบทช์

จากรูป 4.3 จะต้องป้อนค่าตัวแปรทั้งหมดเพื่อนำไปคำนวณ

Calculate	นำค่าไปคำนวณและส่งต่อไปยังหน้าจอแสดงผล
Clear	ลบค่าตัวแปรทั้งหมด
Theory	ดูทฤษฎี
Back	กลับไปยังรายการหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

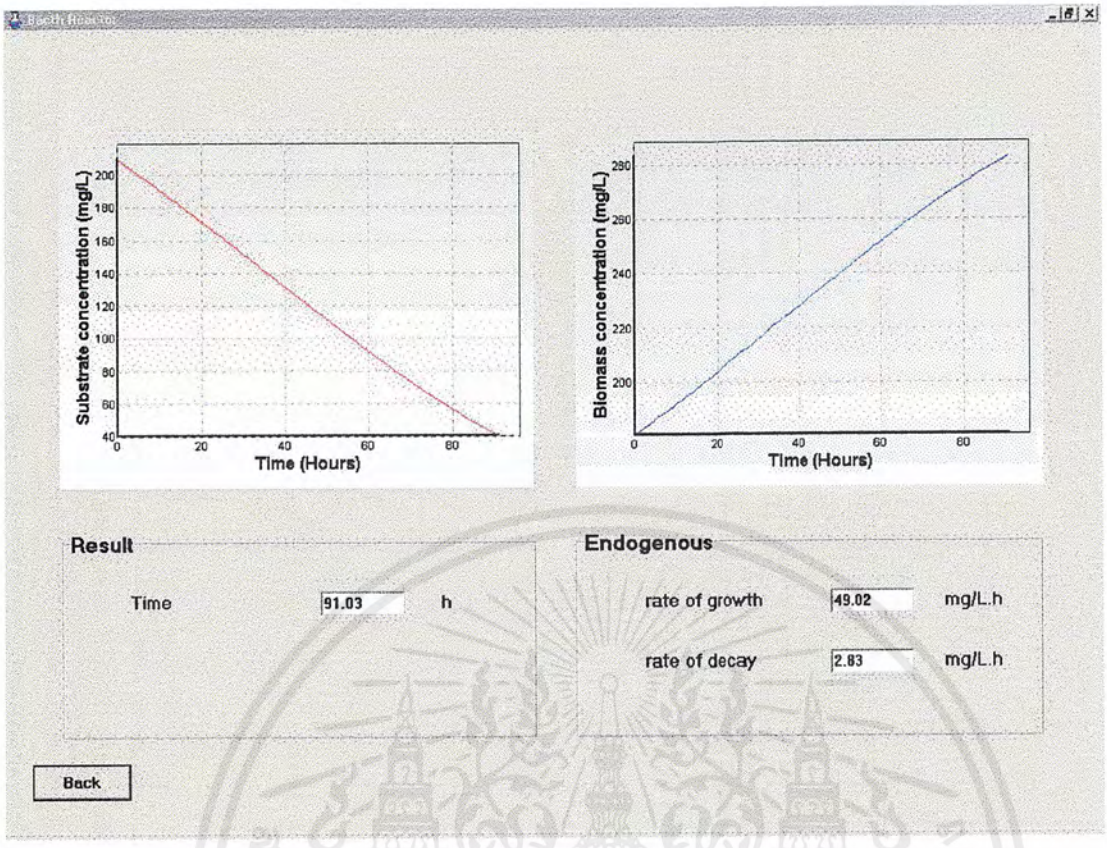


รูปที่ 4.4 ทฤษฎีสำหรับถังปฏิกิริยาแบบแบทช์

จากรูป 4.4 แสดงทฤษฎีและสูตรคำนวณสำหรับถังปฏิกิริยาแบบแบทช์

Back กลับไปยังหน้าจอรับค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

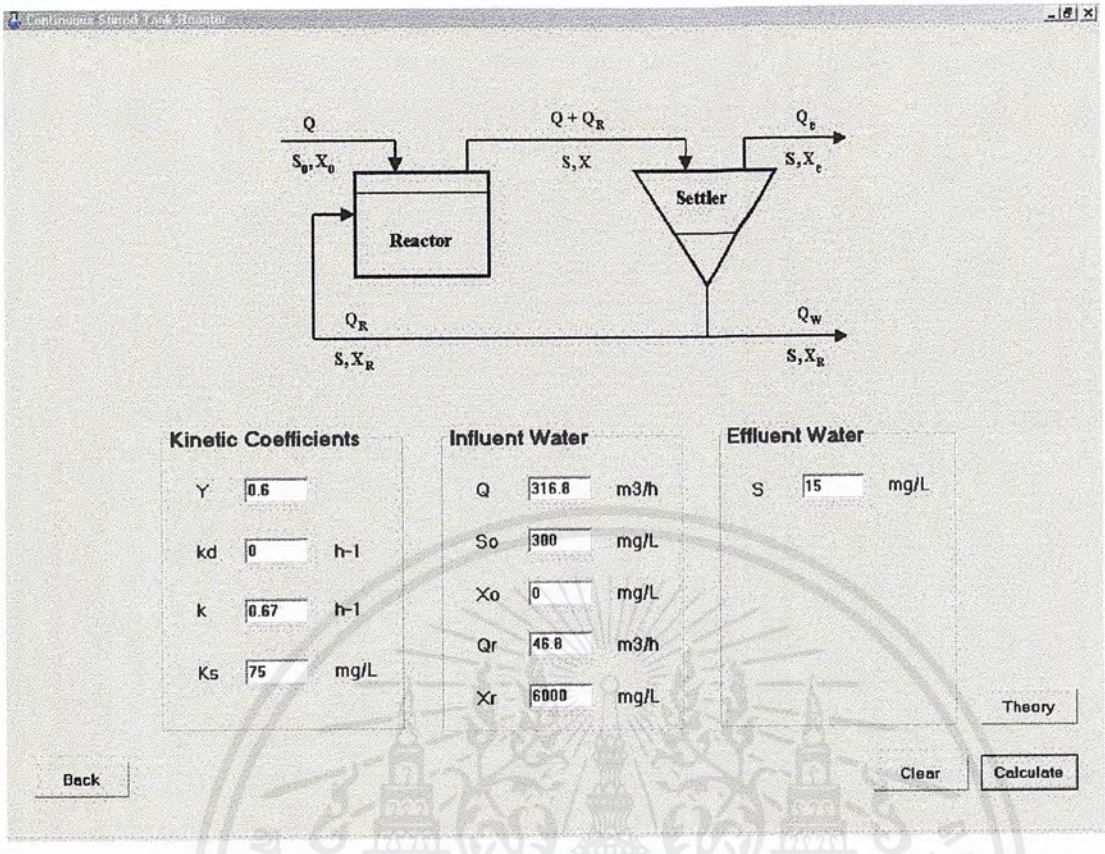


รูปที่ 4.5 หน้าจอแสดงผลสำหรับถังปฏิกิริยาแบบแบทช์

จากรูป 4.5 แสดงผลจากการคำนวณ

Back กลับไปยังหน้าจอรับค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

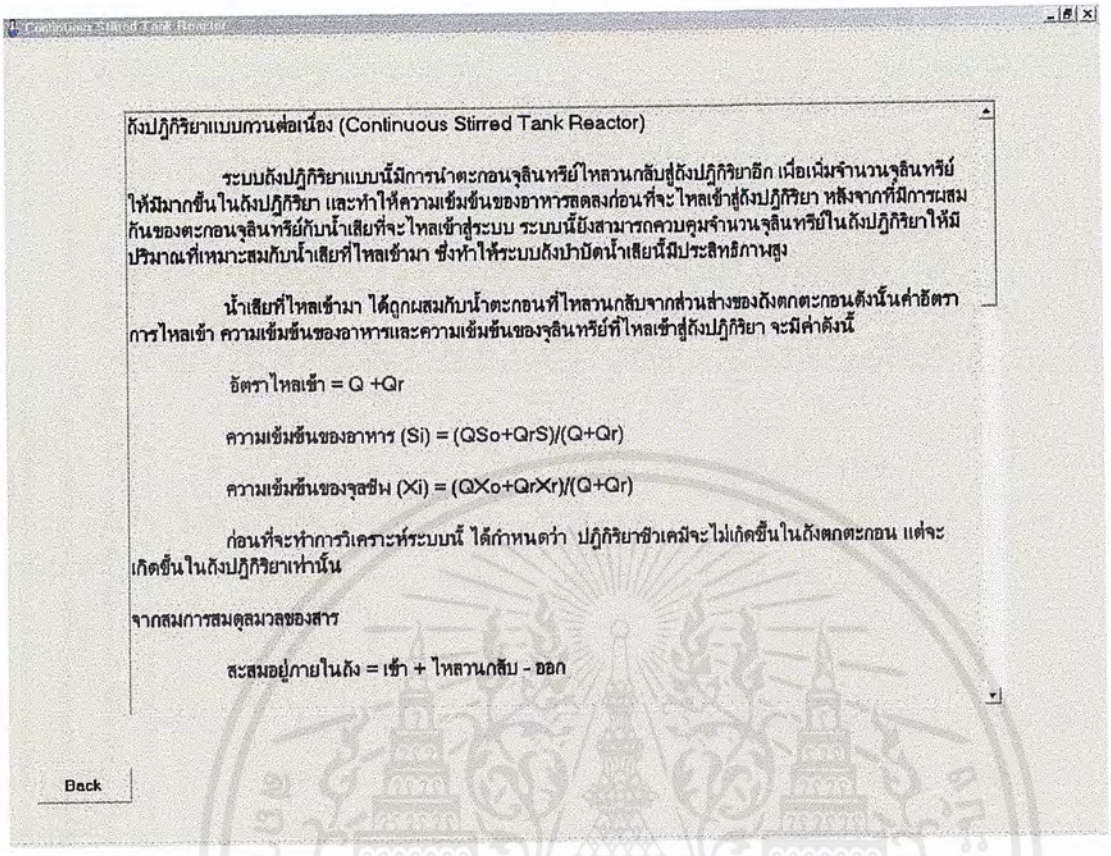


รูปที่ 4.6 หน้าจอรับค่าตัวแปรสำหรับถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่อง

จากรูป 4.6 จะต้องป้อนค่าตัวแปรทั้งหมดเพื่อนำไปคำนวณ

Calculate	นำค่าไปคำนวณและส่งต่อไปยังหน้าจอแสดงผล
Clear	ลบค่าตัวแปรทั้งหมด
Theory	ดูทฤษฎี
Back	กลับไปยังรายการหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

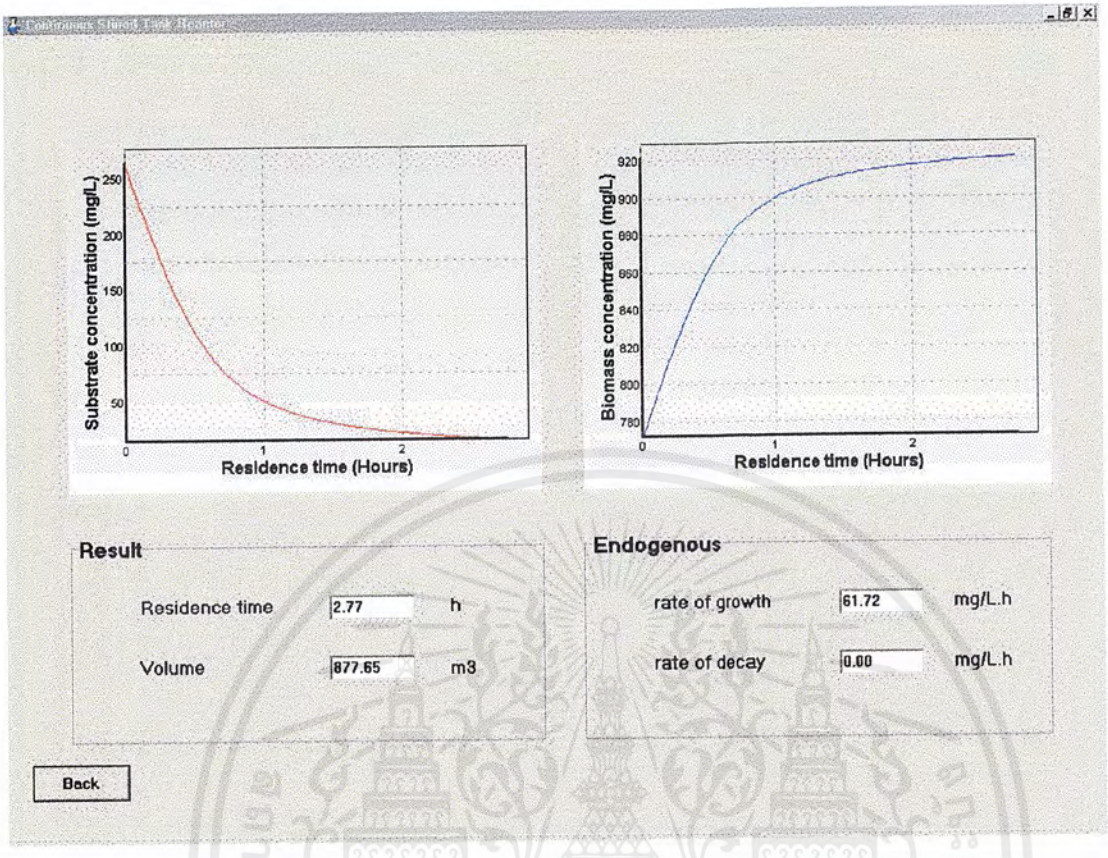


รูปที่ 4.7 ทฤษฎีสำหรับถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่อง

จากรูป 4.7 แสดงทฤษฎีและสูตรคำนวณสำหรับถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่อง

Back กลับไปยังหน้าจอรับค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

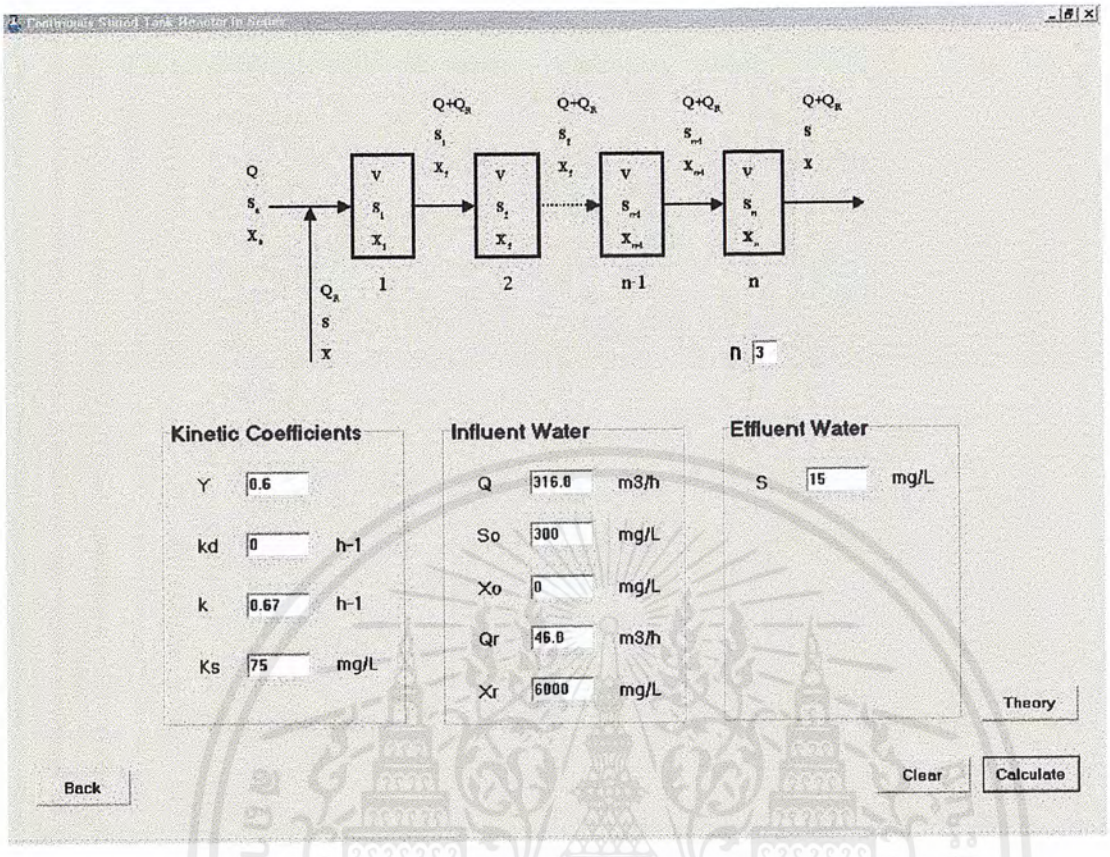


รูปที่ 4.8 หน้าจอแสดงผลสำหรับถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่อง

จากรูป 4.8 แสดงผลจากการคำนวณ

Back กลับไปยังหน้าจอรับค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

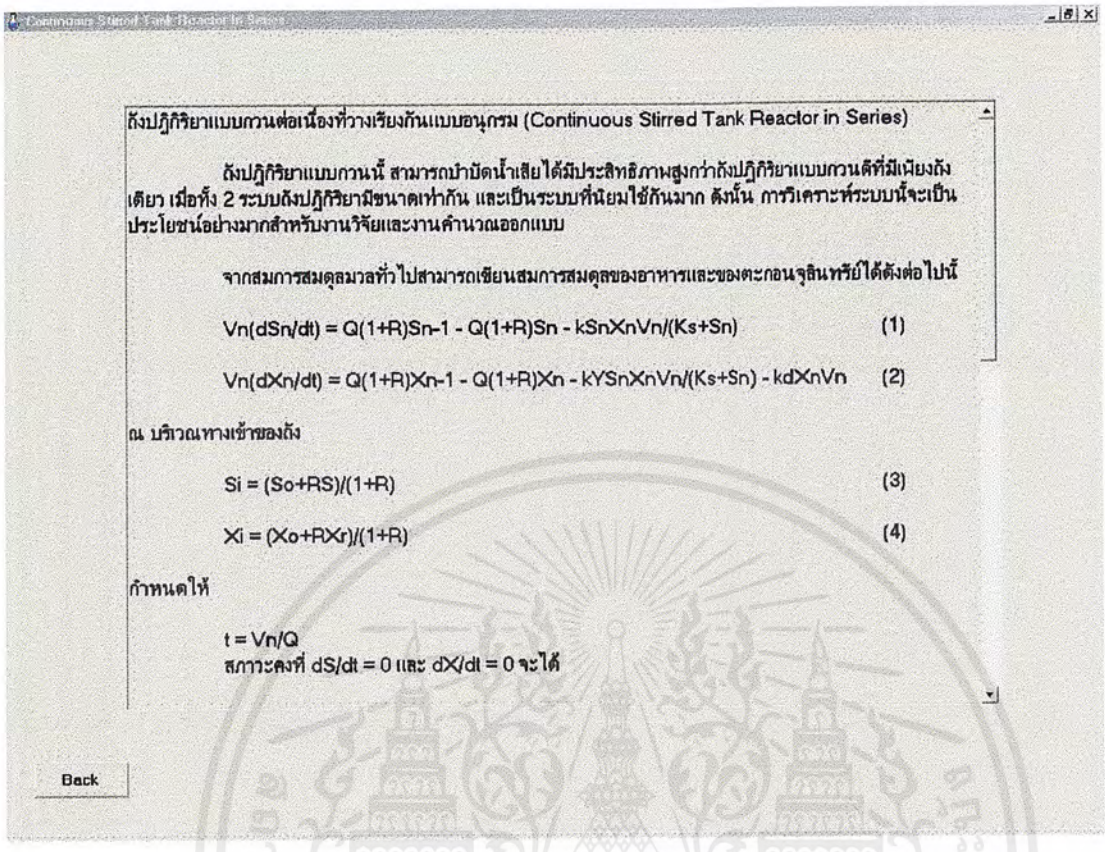


รูปที่ 4.9 หน้าจอรับค่าตัวแปรสำหรับถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่องที่วางเรียงกันแบบอนุกรม

จากรูป 4.9 จะต้องป้อนค่าตัวแปรทั้งหมดเพื่อนำไปคำนวณ

Calculate	นำค่าไปคำนวณและส่งต่อไปยังหน้าจอแสดงผล
Clear	ลบค่าตัวแปรทั้งหมด
Theory	ดูทฤษฎี
Back	กลับไปยังรายการหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

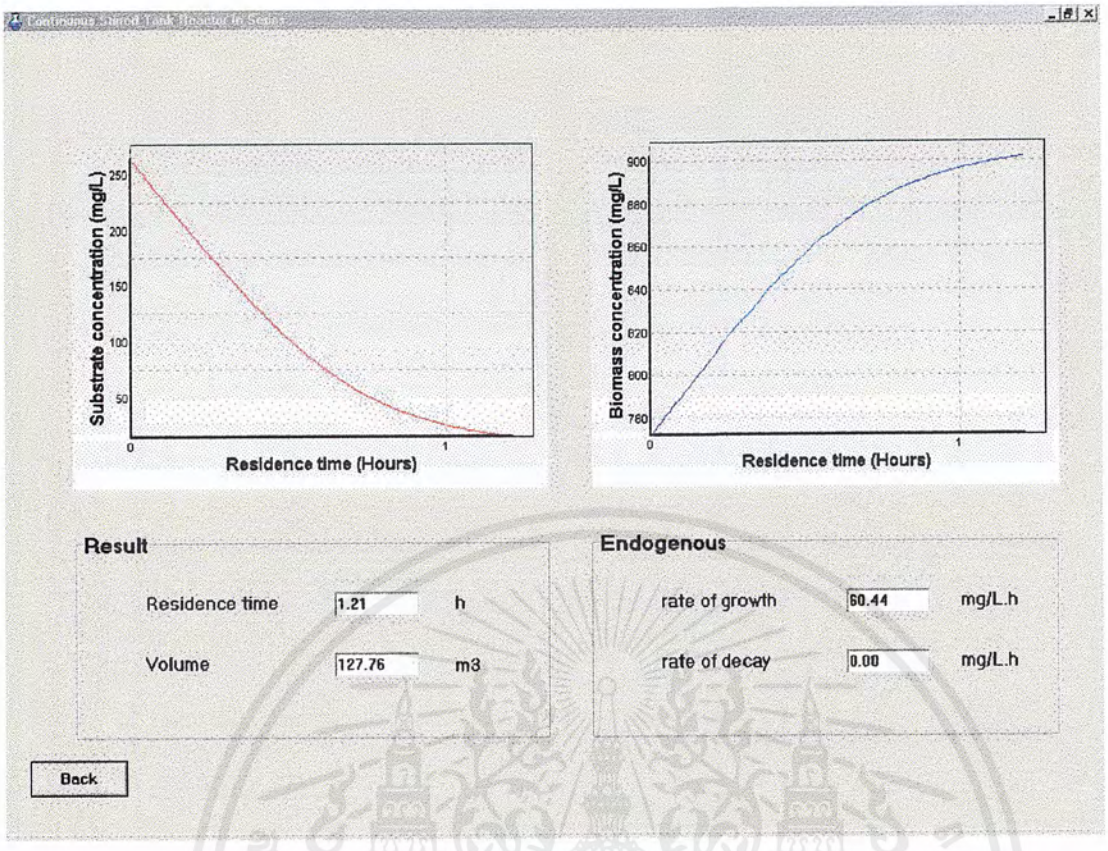


รูปที่ 4.10 ทฤษฎีสำหรับถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่องที่วางเรียงกันแบบอนุกรม

จากรูป 4.10 แสดงทฤษฎีและสูตรคำนวณสำหรับถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่องที่วางเรียงกันแบบอนุกรม

Back กลับไปยังหน้าจอรับค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

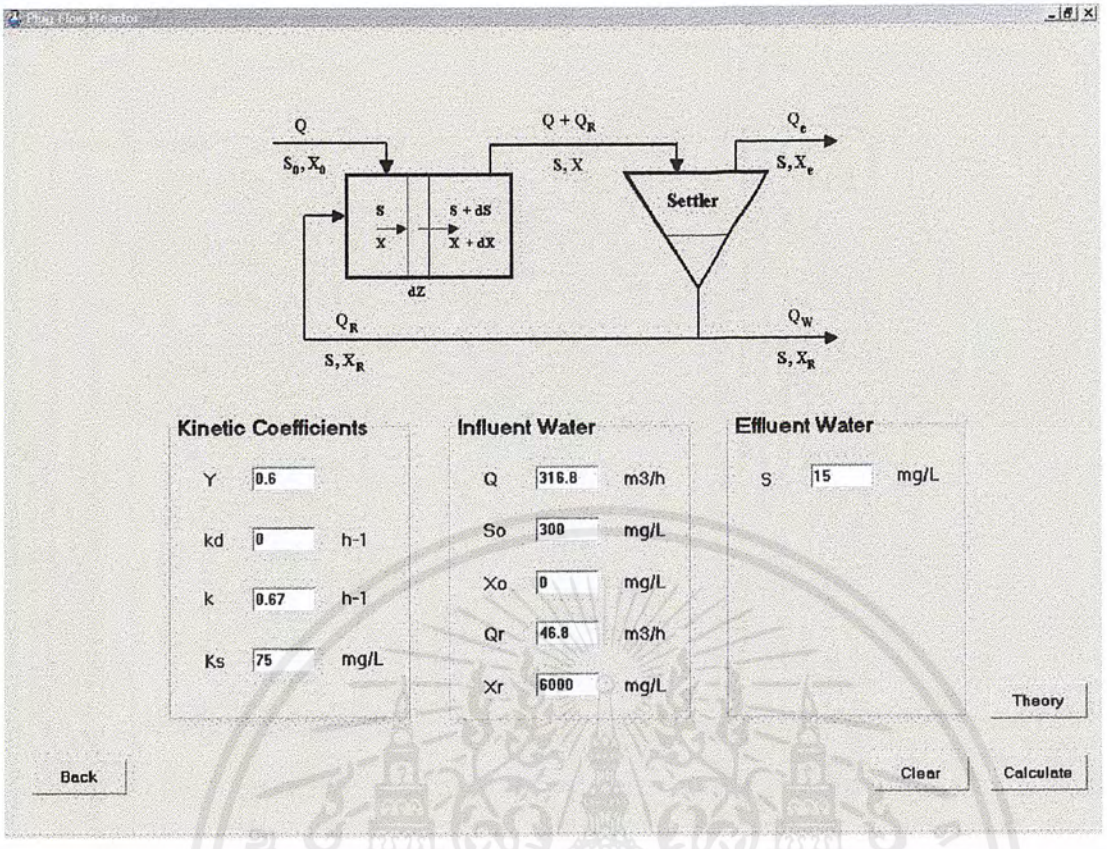


รูปที่ 4.11 หน้าจอแสดงผลสำหรับถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่องที่วางเรียงกันแบบอนุกรม

จากรูป 4.11 แสดงผลจากการคำนวณ

Back กลับไปยังหน้าจอรับค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

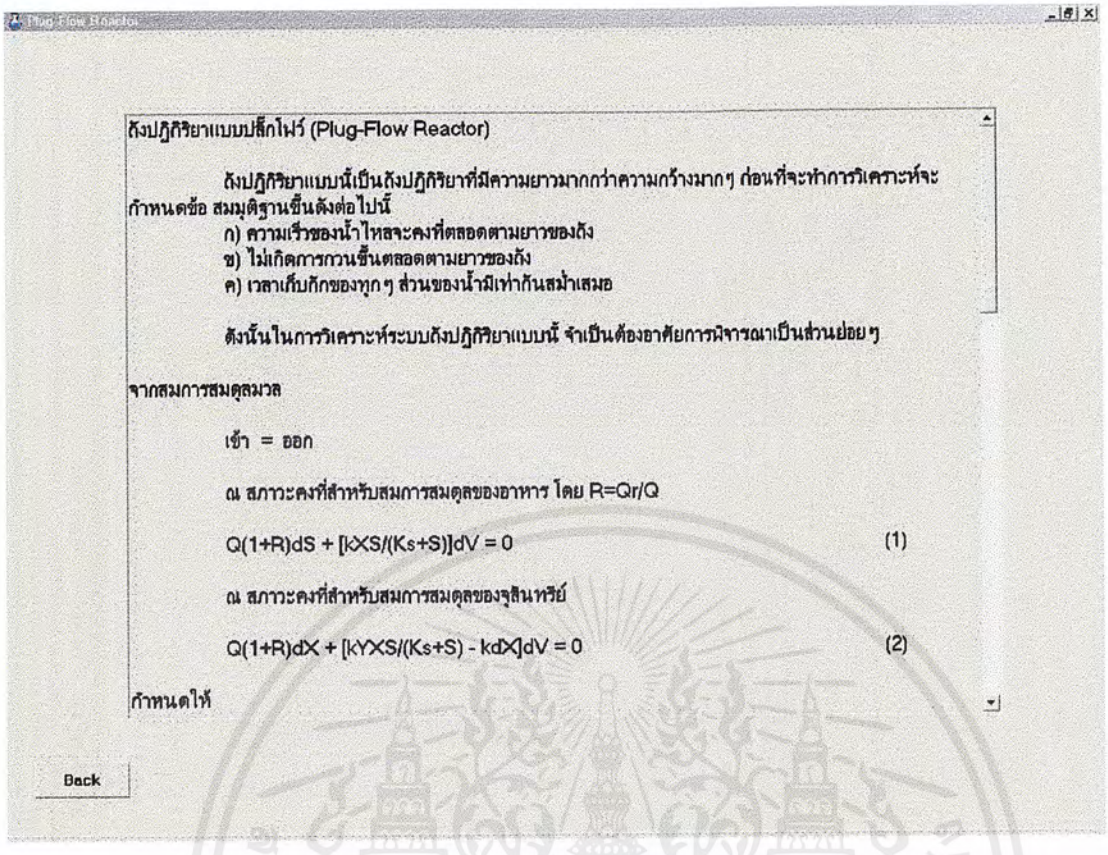


รูปที่ 4.12 หน้าจอรับค่าตัวแปรสำหรับถังปฏิกิริยาแบบปลั๊กโฟลว์

จากรูป 4.12 จะต้องป้อนค่าตัวแปรทั้งหมดเพื่อนำไปคำนวณ

Calculate	นำค่าไปคำนวณและส่งต่อไปยังหน้าจอแสดงผล
Clear	ลบค่าตัวแปรทั้งหมด
Theory	ดูทฤษฎี
Back	กลับไปยังรายการหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

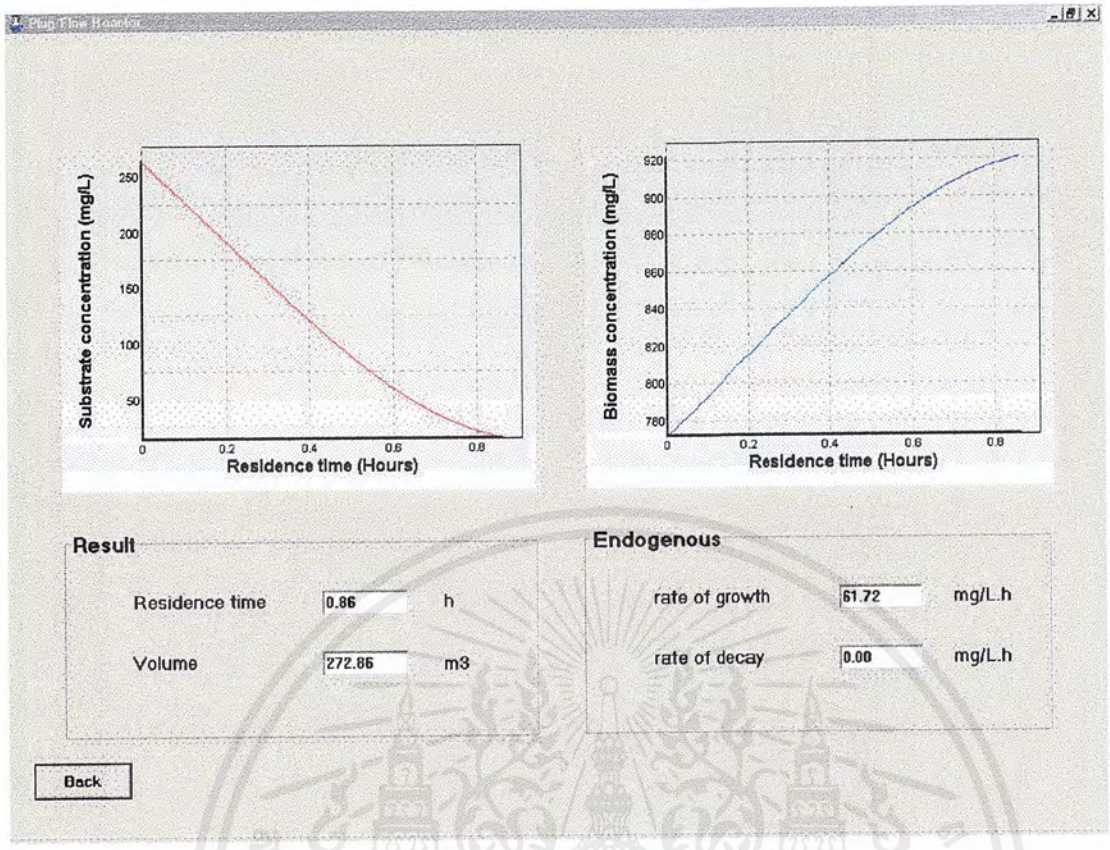


รูปที่ 4.13 ทฤษฎีสำหรับถังปฏิกิริยาแบบปล็กโฟลว์

จากรูป 4.13 แสดงทฤษฎีและสูตรคำนวณสำหรับถังปฏิกิริยาแบบปล็กโฟลว์

Back กลับไปยังหน้าจอรับค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

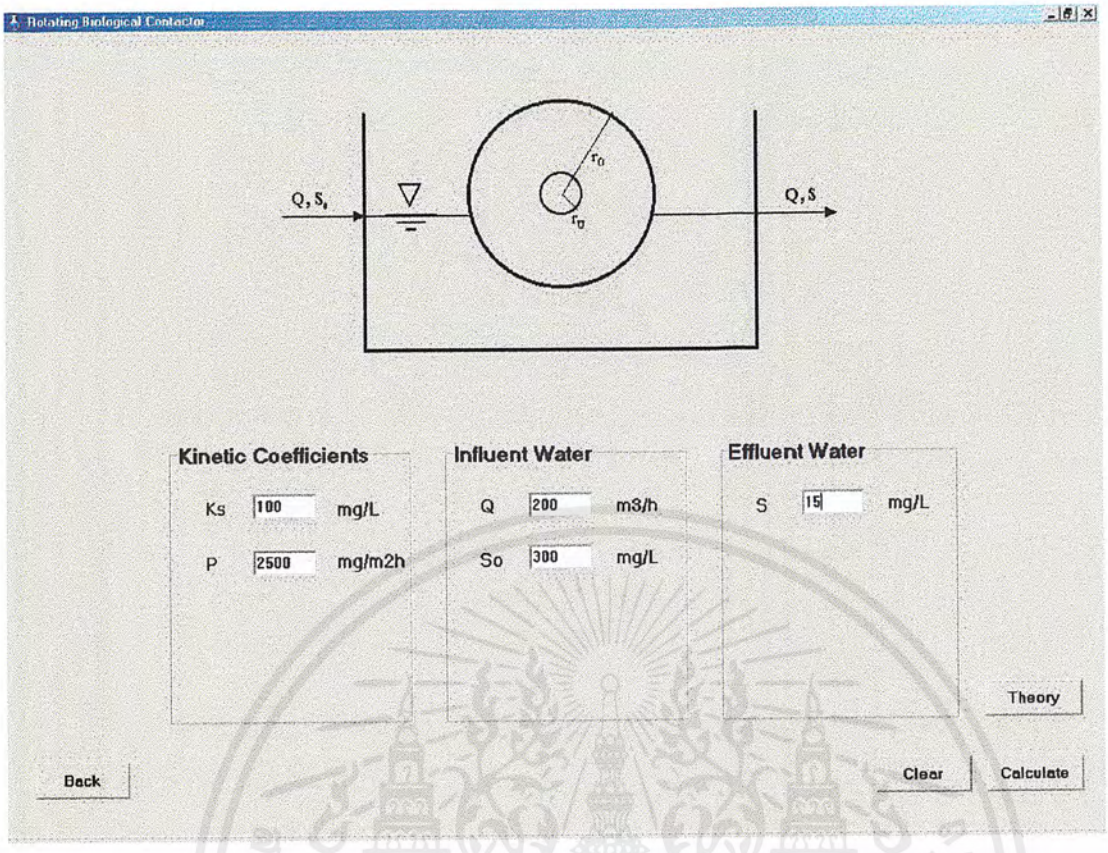


รูปที่ 4.14 หน้าจอแสดงผลสำหรับถังปฏิกิริยาแบบปลั๊กโฟลว์

จากรูป 4.14 แสดงผลจากการคำนวณ

Back กลับไปยังหน้าจอรับค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

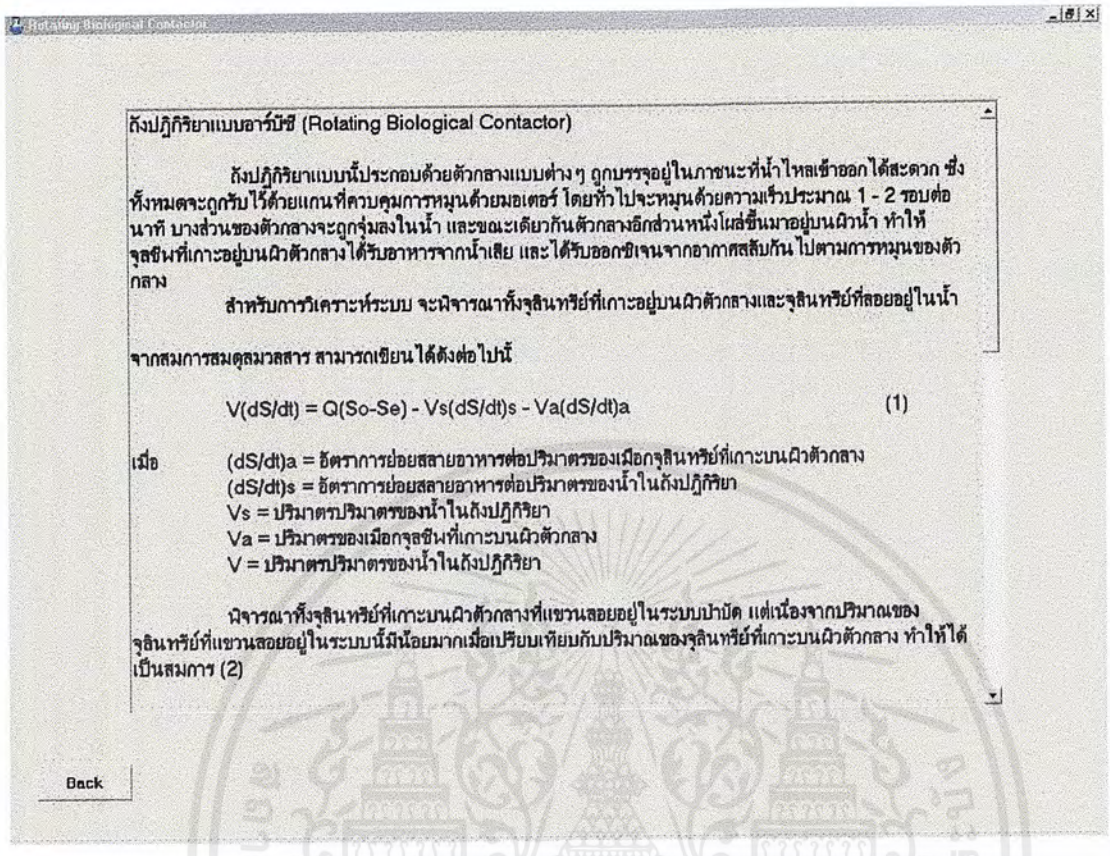


รูปที่ 4.15 หน้าจอรับค่าตัวแปรสำหรับถังปฏิกิริยาแบบอาร์บีซี

จากรูป 4.15 จะต้องป้อนค่าตัวแปรทั้งหมดเพื่อนำไปคำนวณ

Calculate	นำค่าไปคำนวณและส่งต่อไปยังหน้าจอแสดงผล
Clear	ลบค่าตัวแปรทั้งหมด
Theory	ดูทฤษฎี
Back	กลับไปยังรายการหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

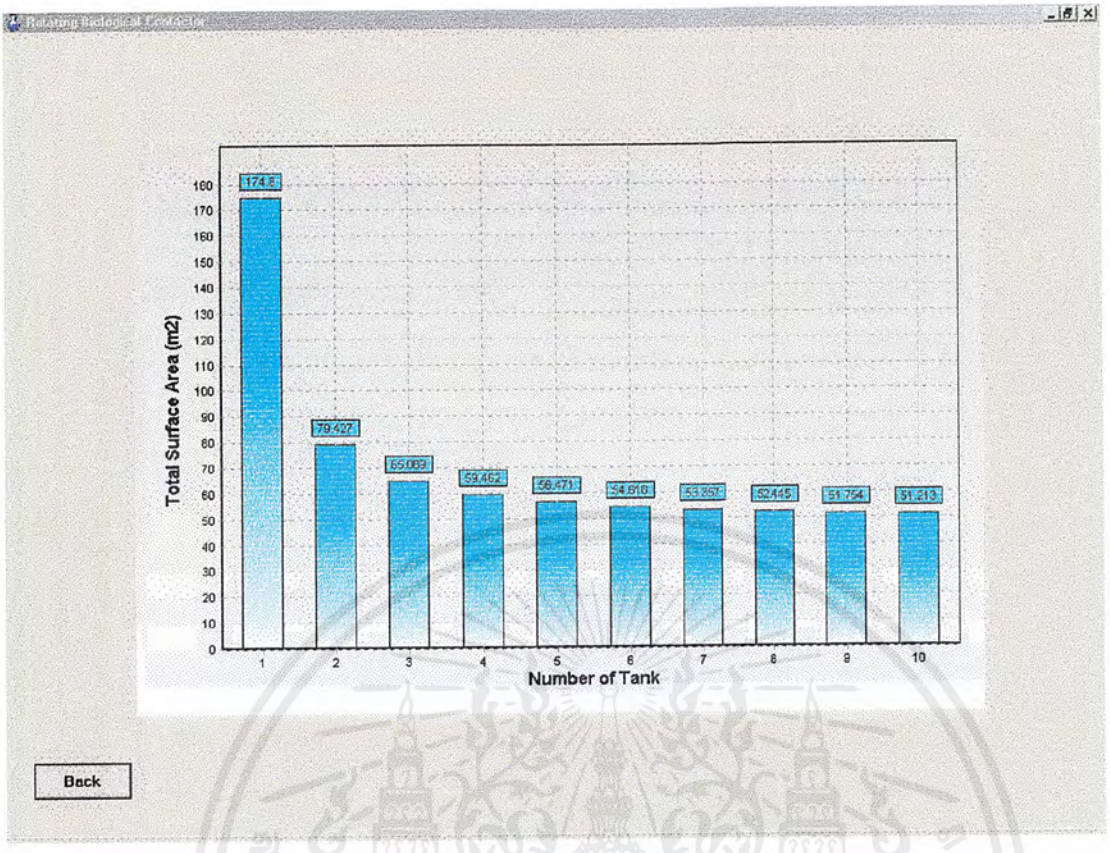


รูปที่ 4.16 ทฤษฎีสำหรับถังปฏิกิริยาแบบอาร์บีซี

จากรูป 4.16 แสดงทฤษฎีและสูตรคำนวณในสำหรับถังปฏิกิริยาแบบอาร์บีซี

Back กลับไปยังหน้าจอรับค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 หน้าจอแสดงผลสำหรับถังปฏิกิริยาแบบอาร์บีซี

จากรูป 4.17 แสดงผลจากการคำนวณ

Back กลับไปยังหน้าจอรับค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 ข้อสรุป

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับช่วยคำนวณออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย ถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้โปรแกรม Delphi โดยแบ่งประเภทของถังปฏิกิริยาในกระบวนการตะกอนเร่ง เป็น 5 ประเภท คือ ถังปฏิกิริยาแบบแบทช์ ถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่อง ถังปฏิกิริยาแบบปล๊กโฟลว์ ถังปฏิกิริยาแบบกวนต่อเนื่องที่วางเรียงกันแบบอนุกรม ถังปฏิกิริยาแบบอาร์บีซี ทั้งนี้ ในทุกประเภทจะแสดงเนื้อหาสูตรคำนวณและรูปภาพประกอบโดยส่วนใหญ่ อ้างอิงตามหนังสือเล่มที่3

ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนทฤษฎีและส่วนคำนวณ ในส่วนทฤษฎีจะแสดงเนื้อหาและสูตรคำนวณที่จำเป็น ในส่วนคำนวณจะเป็นส่วนที่ช่วยทำให้การหาค่าตัวแปรต่างๆ ที่ต้องการรวดเร็วยิ่งขึ้น โดยการใช้ค่าตัวแปรทางจลนพลศาสตร์ที่สามารถหาได้จากการทดลอง อัตราการไหลและองค์ประกอบในน้ำเสียขาเข้าซึ่งสามารถวัดได้ และค่า Substrate ที่ต้องการควบคุมลงไป โปรแกรมจะคำนวณหาค่าเวลาที่น้อยที่สุด และปริมาตรของถังปฏิกิริยาที่ได้เลือกเอาไว้ แล้วแสดงผลออกเป็นค่าเหล่านั้น พร้อมด้วยกราฟแสดงค่า Substrate ที่เปลี่ยนไปตามเวลา และจุลินทรีย์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

จากการใช้งานโปรแกรมพบว่า ผลการคำนวณจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีความถูกต้องในทุกประเภทของถังปฏิกิริยา เมื่อได้รับการตรวจสอบจากตัวอย่างในหนังสืออ้างอิงเล่มที่3

5.2 ข้อเสนอแนะ

ก) ควรเพิ่มประเภทของถังปฏิกิริยาให้มากขึ้น และเพิ่มการคำนวณในถังตกตะกอน เพื่อให้เกิดความหลากหลายในเนื้อหา และเป็นทางเลือกให้แก่ผู้ใช้โปรแกรม

ข) ควรมีการนำกราฟฟิกอื่นๆ มาช่วยพัฒนาโปรแกรม เพื่อความน่าสนใจ และใช้งานง่ายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอ้างอิง

[1] ดร.เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ . การบำบัดน้ำเสีย . พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพ : มิตรนราการพิมพ์,2539.

[2] คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2.กรุงเทพ:โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

[3] ดร.เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ . การบำบัดน้ำเสีย เล่ม 3 .พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพ : มิตรนราการพิมพ์,2537.

[4] Jonathan B. Snape; Irving J.Dunn. Dynamics of Environmental Bioprocesses,1995.

[5] Schroeder , E .D.,Water and Wastewater Treatment, McGraw-Hill,New York,1977.

[6] สมศักดิ์ ศรีขจรเกียรติ . Delphi 4 Step by Step. พิมพ์ครั้งที่2.กรุงเทพ:บิบลิโดไฟล์ พับลิชชิ่ง, 2542.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

โปรแกรมคอมพิวเตอร์

```
unit U_Start;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls;

type
  TfrmStart = class(TForm)
    lblW1: TLabel;
    lblW2: TLabel;
    lblW3: TLabel;
    bttExit: TButton;
    bttNext: TButton;
    procedure bttExitClick(Sender: TObject);
    procedure bttNextClick(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
var
  frmStart: TfrmStart;

implementation

uses U_AS;

{$R *.DFM}

procedure TfrmStart.bttExitClick(Sender: TObject);
begin
  frmStart.Close;
end;

procedure TfrmStart.bttNextClick(Sender: TObject);
begin
  frmAS.Show;
end;

end.

unit U_AS;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
type
  TfrmAs = class(TForm)
    grbAS: TGroupBox;
    rbtBatch: TRadioButton;
    rbtCSTR: TRadioButton;
    rbtSeries: TRadioButton;
    rbtPlug: TRadioButton;
    rbtRBC: TRadioButton;
    bttNext: TButton;
    bttBack: TButton;
    procedure bttNextClick(Sender: TObject);
    procedure bttBackClick(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  frmAs: TfrmAs;

implementation

uses U_BatchInput, U_CSTRInput, U_SeriesInput, U_PlugInput, U_RBCInput;

{$R *.DFM}

procedure TfrmAs.bttNextClick(Sender: TObject);
begin
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  if rbtBatch.Checked=true  then frmBatchInput.show;
  if rbtCSTR.Checked=true   then frmCSTRInput.show;
  if rbtSeries.Checked=true then frmSeriesInput.show;
  if rbtPlug.Checked=true   then frmPlugInput.show;
  if rbtRBC.Checked=true    then frmRBCInput.show;
end;

procedure TfrmAs.bttBackClick(Sender: TObject);
begin
  frmAS.Close;
end;

end.

unit U_BatchInput;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, ExtCtrls;

type
  TfrmBatchInput = class(TForm)
    Image1: TImage;
    grbKineticCoefficients: TGroupBox;
    lblY: TLabel;
    lblkd: TLabel;
    lblk: TLabel;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    lblKs: TLabel;
    edtY: TEdit;
    edtkd: TEdit;
    edtk: TEdit;
    edtKs: TEdit;
    grbInfluentWater: TGroupBox;
    lblX0: TLabel;
    lblS0: TLabel;
    edtX0: TEdit;
    edtS0: TEdit;
    btnNext: TButton;
    btnClear: TButton;
    grbEffluent: TGroupBox;
    lblS: TLabel;
    edtS: TEdit;
    btnBack: TButton;
    btnTheory: TButton;
    procedure btnNextClick(Sender: TObject);
    procedure btnClearClick(Sender: TObject);
    procedure btnBackClick(Sender: TObject);
    procedure btnTheoryClick(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  frmBatchInput: TfrmBatchInput;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  i:integer;
  S0,S,SS,S1,X0,X,XX,X1,Y,Ks,k,kd,t,tt,t1,rg,rd:real;
  pt,pS,pX:array[0..100] of real;

implementation

uses U_BatchOutput, U_BatchTheory;

{$R *.DFM}

procedure TfrmBatchInput.btnNextClick(Sender: TObject);
{-------------------------------------------}
function funct(t:real):real;
begin
  funct:=ln(S0+Y*(S0-S)*S0/X0)+(X0+Y*S0)/(Y*Ks)*ln((X0+Y*(S0-S))/X0)
  -k*t/60*(X0+Y*S0)/Ks-ln(S);
end;
{-------------------------------------------}
function funcS(S:real):real;
begin
  funcS:=ln(S0+Y*(S0-S)*S0/X0)+(X0+Y*S0)/(Y*Ks)*ln((X0+Y*(S0-S))/X0)
  -k*t/60*(X0+Y*S0)/Ks-ln(S);
end;
{-------------------------------------------}
function funcX(X:real):real;
begin
  funcX:=k*Y*t/60+ln(X0)-(Y*Ks/(X0+Y*S0))*ln(X/X0*(Y*S0/(Y*S0+X0-X)))-ln(X);
end;
{-------------------------------------------}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
procedure findt(tl,tu:real; var t1:real);
begin
  t1:=(tl+tu)/2;
  repeat
    tt:=t1;
    t1:=(tl*funct(tu)-tu*funct(tl))/(funct(tu)-funct(tl));
    if funct(tl)*funct(t1)>0 then tl:=t1
      else if funct(tl)*funct(t1)<0 then tu:=t1
        else tt:=t1;
  until abs((tt-t1)*100/t1)<0.0001;
end;
{-------------------------------------------}
procedure findS(Sl,Su:real; var S1:real);
begin
  S1:=(Sl+Su)/2;
  repeat
    SS:=S1;
    S1:=(Sl*funcS(Su)-Su*funcS(Sl))/(funcS(Su)-funcS(Sl));
    if funcS(Sl)*funcS(S1)>0 then Sl:=S1
      else if funcS(Sl)*funcS(S1)<0 then Su:=S1
        else SS:=S1;
  until abs((SS-S1)*100/S1)<0.0001;
end;
{-------------------------------------------}
procedure findX(Xl,Xu:real; var X1:real);
begin
  X1:=(Xl+Xu)/2;
  repeat
    XX:=X1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    X1:=(Xl*funcX(Xu)-Xu*funcX(Xl))/(funcX(Xu)-funcX(Xl));
    if funcX(Xl)*funcX(X1)>0 then Xl:=X1
      else if funcX(Xl)*funcX(X1)<0 then Xu:=X1
        else XX:=X1;
  until abs((XX-X1)*100/X1)<0.0001;
end;
{-----------------------------------------}
begin
  Y:=strtofloat(edtY.text);
  kd:=strtofloat(edtkd.text);
  k:= strtofloat(edtk.text);
  Ks:=strtofloat(edtKs.text);
  X0:=strtofloat(edtX0.text);
  S0:=strtofloat(edtS0.text);
  S:=strtofloat(edtS.text);
  findt(0,10000,t);
  t1:=t;
  findX(1,X0+Y*(S0-S),X);
  rg:=k*Y*X*S/(Ks+S);
  rd:=kd*X;
  for i:=0 to 99 do
  begin
    t:=t1*i/99;
    findS(S0,S,S1);
    findX(X0,X,X1);
    pt[i]:=t;
    pS[i]:=S1;
    pX[i]:=X1;
  end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    frmBatchInput.hide;
    frmBatchOutput.show;
end;

procedure TfrmBatchInput.btnClearClick(Sender: TObject);
begin
  edtY.text:='';
  edtkd.text:='';
  edtk.text:='';
  edtKs.text:='';
  edtX0.text:='';
  edtS0.text:='';
  edtS.text:='';
end;

procedure TfrmBatchInput.btnBackClick(Sender: TObject);
begin
  frmBatchInput.close;
  frmBatchOutput.close;
end;

procedure TfrmBatchInput.btnTheoryClick(Sender: TObject);
begin
frmBatchInput.hide;
frmBatchTheory.show;
end;

end.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
unit U_BatchOutput;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  TeEngine, Series, ExtCtrls, TeeProcs, Chart, StdCtrls;

type
  TfrmBatchOutput = class(TForm)
    Chart1: TChart;
    Series1: TLineSeries;
    btnBack: TButton;
    Chart2: TChart;
    series2: TLineSeries;
    lblrg: TLabel;
    lblrd: TLabel;
    edtrg: TEdit;
    edtrd: TEdit;
    grbEndogenous: TGroupBox;
    grbResult: TGroupBox;
    lblt: TLabel;
    lblS: TLabel;
    lblX: TLabel;
    edtt: TEdit;
    edtS: TEdit;
    edtX: TEdit;
    procedure btnBackClick(Sender: TObject);
    procedure FormCreate(Sender: TObject);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  frmBatchOutput: TfrmBatchOutput;

implementation

uses U_BatchInput;

{$R *.DFM}

procedure TfrmBatchOutput.btnBackClick(Sender: TObject);
begin
  series1.clear;
  series2.clear;
  frmBatchOutput.hide;
  frmBatchInput.show;
end;

procedure TfrmBatchOutput.FormCreate(Sender: TObject);
var i:integer;
   stt,stS,stX,strg,strd:string;
begin
  for i:=0 to 99 do
  begin
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      series1.addXY(pt[i],pS[i],'',clred);
      series2.addXY(pt[i],pX[i],'',clblue);
    end;
    str(t:0:2,stt);
    str(S:0:2,stS);
    str(X:0:2,stX);
    str(rg:0:2,strg);
    str(rd:0:2,strd);
    edtt.text:=stt;
    edtS.text:=stS;
    edtX.text:=stX;
    edtrg.text:=strg;
    edtrd.text:=strd;
end;

end.

unit U_BatchTheory;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls;

type
  TfrmBatchTheory = class(TForm)
    btnBack: TButton;
    memBatch: TMemo;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    procedure btnBackClick(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  frmBatchTheory: TfrmBatchTheory;

implementation

uses U_BatchInput;

{$R *.DFM}

procedure TfrmBatchTheory.btnBackClick(Sender: TObject);
begin
  frmBatchTheory.Close;
  frmBatchInput.show;
end;

end.

unit U_CSTRInput;

interface

uses
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, ExtCtrls;

type
  TfrmCSTRInput = class(TForm)
    grbKineticCoefficients: TGroupBox;
    lblY: TLabel;
    lblkd: TLabel;
    lblk: TLabel;
    lblKs: TLabel;
    edtY: TEdit;
    edtk: TEdit;
    edtKs: TEdit;
    grbInfluentWater: TGroupBox;
    lblS0: TLabel;
    edtS0: TEdit;
    lblQ: TLabel;
    lblQr: TLabel;
    lblXr: TLabel;
    edtQ: TEdit;
    edtXr: TEdit;
    edtQr: TEdit;
    grbCSTREffluent: TGroupBox;
    lblS: TLabel;
    edtS: TEdit;
    Image1: TImage;
    btnClear: TButton;
    btnNext: TButton;
    lblX: TLabel;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    edtX0: TEdit;
    btnBack: TButton;
    edtkd: TEdit;
    btnTheory: TButton;
    procedure btnClearClick(Sender: TObject);
    procedure btnNextClick(Sender: TObject);
    procedure btnBackClick(Sender: TObject);
    procedure btnTheoryClick(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  frmCSTRInput: TfrmCSTRInput;
  i:integer;
  Y,kd,k,Ks,S0,Q,X0,Qr,Xr,S,R,X,t,V,t1,S1,X1,Si,Xi,SS,XX,rg,rd:real;
  pt,pS,pX:array[0..100] of real;

implementation

uses U_CSTROutput, U_CSTRTheory;

{$R *.DFM}


procedure TfrmCSTRInput.btnClearClick(Sender: TObject);
begin
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  edtY.text:='';
  edtkd.text:='';
  edtk.text:='';
  edtKs.text:='';
  edtQ.text:='';
  edtS0.text:='';
  edtX0.text:='';
  edtQr.text:='';
  edtXr.text:='';
  edtS.text:='';
end;

procedure TfrmCSTRInput.btnNextClick(Sender: TObject);
{-----------------------------------------}
function funcS(S:real):real;
begin
  funcS:=(Ks+S)*(Si-S)*(1+R)/(t*k*S)
      -Xi*(1+R)/((1+R)+kd*t-(k*Y*S*t)/(Ks+S));
end;
{-----------------------------------------}
function funcX(X:real):real;
begin
  funcX:=(Ks+S)*(Si-S)*(1+R)/(k*X*S)
      -(Xi-X)*(1+R)/(kd*X-(k*Y*X*S)/(Ks+S));
end;
{-----------------------------------------}
procedure findS(Sl,Su:real; var S1:real);
begin
  S1:=(Sl+Su)/2;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  repeat
    SS:=S1;
    S1:=(Sl*funcS(Su)-Su*funcS(Sl))/(funcS(Su)-funcS(Sl));
    if funcS(Sl)*funcS(S1)>0 then Sl:=S1
      else if funcS(Sl)*funcS(S1)<0 then Su:=S1
        else SS:=S1;
  until abs((SS-S1)*100/S1)<0.0001;
end;
{-----------------------------------------}
procedure findX(Xl,Xu:real; var X1:real);
begin
  X1:=(Xl+Xu)/2;
  repeat
    XX:=X1;
    X1:=(Xl*funcX(Xu)-Xu*funcX(Xl))/(funcX(Xu)-funcX(Xl));
    if funcX(Xl)*funcX(X1)>0 then Xl:=X1
      else if funcX(Xl)*funcX(X1)<0 then Xu:=X1
        else XX:=X1;
  until abs((XX-X1)*100/X1)<0.0001;
end;
{-----------------------------------------}
begin
  Y:=strtofloat(edtY.text);
  kd:=strtofloat(edtkd.text);
  k:=strtofloat(edtk.text);
  Ks:=strtofloat(edtKs.text);
  Q:=strtofloat(edtQ.text);
  S0:=strtofloat(edtS0.text);
  X0:=strtofloat(edtX0.text);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  Qr:=strtofloat(edtQr.text);
  Xr:=strtofloat(edtXr.text);
  S:=strtofloat(edtS.text);
  R:=Qr/Q;
  Xi:=(X0+R*Xr)/(1+R);
  Si:=(S0+R*S)/(1+R);
  findX(Xi,Xr,X);
  t:=(Ks+S)*(Si-S)*(1+R)/(k*X*S);
  t1:=t;
  V:=Q*t;
  rg:=k*Y*X*S/(Ks+S);
  rd:=kd*X;
  pt[0]:=0;
  pS[0]:=Si;
  pX[0]:=Xi;
  for i:=1 to 99 do
  begin
    t:=t1*i/99;
    findS(Si,S,S1);
    S:=S1;
    findX(Xi,X,X1);
    pt[i]:=t;
    pS[i]:=S1;
    pX[i]:=X1;
  end;
  frmCSTRInput.hide;
  frmCSTROutput.show;
end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
procedure TfrmCSTRInput.btnBackClick(Sender: TObject);
begin
  frmCSTRInput.close;
  frmCSTROutput.close;
end;

procedure TfrmCSTRInput.btnTheoryClick(Sender: TObject);
begin
frmCSTRInput.Hide;
frmCSTRTheory.show;
end;

end.

unit U_CSTROutput;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, TeEngine, Series, ExtCtrls, TeeProcs, Chart;

type
  TfrmCSTROutput = class(TForm)
    Chart1: TChart;
    Series1: TLineSeries;
    Chart2: TChart;
    series2: TLineSeries;
    btnBack: TButton;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    grbEndogenous: TGroupBox;
    lblrg: TLabel;
    lblrd: TLabel;
    edtrg: TEdit;
    edtrd: TEdit;
    grbResult: TGroupBox;
    lblt: TLabel;
    edtt: TEdit;
    lblV: TLabel;
    edtV: TEdit;
    procedure btnBackClick(Sender: TObject);
    procedure FormCreate(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  frmCSTROutput: TfrmCSTROutput;

implementation

uses U_CSTRInput;

{$R *.DFM}

procedure TfrmCSTROutput.btnBackClick(Sender: TObject);
begin
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  series1.clear;
  series2.clear;
  frmCSTROutput.hide;
  frmCSTRInput.show;
end;

procedure TfrmCSTROutput.FormCreate(Sender: TObject);
var i:integer;
   stt,stV,strg,strd:string;
begin
  for i:=0 to 99 do
  begin
    series1.addXY(pt[i],pS[i],'',clred);
    series2.addXY(pt[i],pX[i],'',clblue);
  end;
  str(t:0:2,stt);
  str(V:0:2,stV);
  str(rg:0:2,strg);
  str(rd:0:2,strd);
  edtt.text:=stt;
  edtV.text:=stV;
  edtrg.text:=strg;
  edtrd.text:=strd;
end;

end.

unit U_CSTRTheory;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls;

type
  TfrmCSTRTheory = class(TForm)
    memCSTR: TMemo;
    btnBack: TButton;
    procedure btnBackClick(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  frmCSTRTheory: TfrmCSTRTheory;

implementation

uses U_CSTRInput;

{$R *.DFM}

procedure TfrmCSTRTheory.btnBackClick(Sender: TObject);
begin
  frmCSTRTheory.close;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  frmCSTRInput.show;
end;

end.

unit U_PlugInput;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, ExtCtrls;

type
  TfrmPlugInput = class(TForm)
    Image1: TImage;
    btnClear: TButton;
    btnNext: TButton;
    grbKineticCoefficients: TGroupBox;
    lblY: TLabel;
    lblkd: TLabel;
    lblk: TLabel;
    lblKs: TLabel;
    edtY: TEdit;
    edtkd: TEdit;
    edtk: TEdit;
    edtKs: TEdit;
    grbInfluentWater: TGroupBox;
    lblS0: TLabel;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    lblQ: TLabel;
    lblQr: TLabel;
    lblXr: TLabel;
    lblX: TLabel;
    edtS0: TEdit;
    edtQ: TEdit;
    edtXr: TEdit;
    edtQr: TEdit;
    edtX0: TEdit;
    grbEffluentWater: TGroupBox;
    lblS: TLabel;
    edtS: TEdit;
    btnBack: TButton;
    btnTheory: TButton;
    procedure btnClearClick(Sender: TObject);
    procedure btnNextClick(Sender: TObject);
    procedure btnBackClick(Sender: TObject);
    procedure btnTheoryClick(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  frmPlugInput: TfrmPlugInput;
  i:integer;
  Y,kd,k,Ks,S0,Q,X0,Qr,Xr,S,R,X,t,V,t1,S1,X1,SS,XX,Si,Xi,rg,rd:real;
  pt,pS,pX:array[0..100] of real;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
implementation

uses U_PlugOutput, U_PlugTheory;

{$R *.DFM}

procedure TfrmPlugInput.btnClearClick(Sender: TObject);
begin
  edtY.text:='';
  edtkd.text:='';
  edtk.text:='';
  edtKs.text:='';
  edtQ.text:='';
  edtS0.text:='';
  edtX0.text:='';
  edtQr.text:='';
  edtXr.text:='';
  edtS.text:='';
end;

procedure TfrmPlugInput.btnNextClick(Sender: TObject);
{-------------------------------------------}
function funcS(S:real):real;
begin
  funcS:=(Xi-Y*Ks*ln(Si/S))/(1-(k*Y-Kd)*t/(1+R))
       -((Si-S)+Ks*ln(Si/S))*(1+R)/(k*t);
end;
{-------------------------------------------}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
function funcX(X:real):real;
begin
  funcX:=((X-Xi)+Y*Ks*ln(Si/S))*(1+R)/((k*Y-kd)*X)
       -((Si-S)+Ks*ln(Si/S))*(1+R)/(k*X);
end;
{-----------------------------------------------}
procedure findS(Sl,Su:real; var S:real);
begin
  S1:=(Sl+Su)/2;
  repeat
    SS:=S1;
    S1:=(Sl*funcS(Su)-Su*funcS(Sl))/(funcS(Su)-funcS(Sl));
    if funcS(Sl)*funcS(S1)>0 then Sl:=S1
      else if funcS(Sl)*funcS(S1)<0 then Su:=S1
        else SS:=S1;
  until abs((SS-S1)*100/S1)<0.0001;
end;
{-----------------------------------------------}
procedure findX(Xl,Xu:real; var X1:real);
begin
  X1:=(Xl+Xu)/2;
  repeat
    XX:=X1;
    X1:=(Xl*funcX(Xu)-Xu*funcX(Xl))/(funcX(Xu)-funcX(Xl));
    if funcX(Xl)*funcX(X1)>0 then Xl:=X1
      else if funcX(Xl)*funcX(X1)<0 then Xu:=X1
        else XX:=X1;
  until abs((XX-X1)*100/X1)<0.0001;
end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{-----------------------------------------------}
begin
  Y:=strtofloat(edtY.text);
  kd:=strtofloat(edtkd.text);
  k:=strtofloat(edtk.text);
  Ks:=strtofloat(edtKs.text);
  Q:=strtofloat(edtQ.text);
  S0:=strtofloat(edtS0.text);
  X0:=strtofloat(edtX0.text);
  Qr:=strtofloat(edtQr.text);
  Xr:=strtofloat(edtXr.text);
  S:=strtofloat(edtS.text);
  R:=Qr/Q;
  Si:=(S0+R*S)/(1+R);
  Xi:=(X0+R*Xr)/(1+R);
  findX(Xi,Xr,X);
  t:=((Si-S)+Ks*ln(Si/S))*(1+R)/(k*X);
  t1:=t;
  V:=Q*t;
  rg:=k*Y*X*S/(Ks+S);
  rd:=kd*X;
  pt[0]:=0;
  pS[0]:=Si;
  pX[0]:=Xi;
  for i:=1 to 99 do
  begin
    t:=t1*i/99;
    findS(Si,S,S1);
    S:=S1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      findX(Xi,X,X1);
      pt[i]:=t;
      pS[i]:=S1;
      pX[i]:=X1;
    end;
    frmPlugInput.hide;
    frmPlugOutput.show;
end;

procedure TfrmPlugInput.btnBackClick(Sender: TObject);
begin
    frmPlugInput.close;
    frmPlugOutput.close;
end;

procedure TfrmPlugInput.btnTheoryClick(Sender: TObject);
begin
frmPlugInput.Hide;
frmPlugTheory.Show;
end;

end.

unit U_PlugOutput;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  StdCtrls, TeEngine, Series, ExtCtrls, TeeProcs, Chart;

type
  TfrmPlugOutput = class(TForm)
    Chart1: TChart;
    Series1: TLineSeries;
    Chart2: TChart;
    series2: TLineSeries;
    grbResult: TGroupBox;
    lblt: TLabel;
    lblV: TLabel;
    edtt: TEdit;
    edtV: TEdit;
    grbEndogenous: TGroupBox;
    lblrg: TLabel;
    lblrd: TLabel;
    edtrg: TEdit;
    edtrd: TEdit;
    btnBack: TButton;
    procedure FormCreate(Sender: TObject);
    procedure btnBackClick(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  frmPlugOutput: TfrmPlugOutput;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
implementation

uses U_PlugInput;

{$R *.DFM}

procedure TfrmPlugOutput.FormCreate(Sender: TObject);
var i:integer;
   stt,stV,strg,strd:string;
begin
  for i:=0 to 99 do
  begin
    series1.addXY(pt[i],pS[i],'',clred);
    series2.addXY(pt[i],pX[i],'',clblue);
  end;
  str(t:0:2,stt);
  str(V:0:2,stV);
  str(rg:0:2,strg);
  str(rd:0:2,strd);
  edtt.text:=stt;
  edtV.text:=stV;
  edtrg.text:=strg;
  edtrd.text:=strd;
end;

procedure TfrmPlugOutput.btnBackClick(Sender: TObject);
begin
  series1.clear;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  series2.clear;
  frmPlugOutput.hide;
  frmPlugInput.show;
end;

end.

unit U_PlugTheory;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls;

type
  TfrmPlugTheory = class(TForm)
    btnBack: TButton;
    memPlug: TMemo;
    procedure btnBackClick(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  frmPlugTheory: TfrmPlugTheory;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
implementation

uses U_PlugInput;

{$R *.DFM}

procedure TfrmPlugTheory.btnBackClick(Sender: TObject);
begin
  frmPlugTheory.close;
  frmPlugInput.show;
end;

end.

unit U_SeriesInput;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, ExtCtrls;

type
  TfrmSeriesInput = class(TForm)
    Image1: TImage;
    btnClear: TButton;
    btnNext: TButton;
    lbln: TLabel;
    edtn: TEdit;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
grbKineticCoefficients: TGroupBox;
lblY: TLabel;
lblkd: TLabel;
lblk: TLabel;
lblKs: TLabel;
edtY: TEdit;
edtkd: TEdit;
edtk: TEdit;
edtKs: TEdit;
grbInfluentWater: TGroupBox;
lblS0: TLabel;
lblQ: TLabel;
lblQr: TLabel;
lblXr: TLabel;
lblX: TLabel;
edtS0: TEdit;
edtQ: TEdit;
edtXr: TEdit;
edtQr: TEdit;
edtX0: TEdit;
grbEffluentWater: TGroupBox;
lblS: TLabel;
edtS: TEdit;
btnBack: TButton;
btnTheory: TButton;
procedure btnClearClick(Sender: TObject);
procedure btnNextClick(Sender: TObject);
procedure btnBackClick(Sender: TObject);
procedure btnTheoryClick(Sender: TObject);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  frmSeriesInput: TfrmSeriesInput;
  i,j,n:integer;
  Y,kd,k,Ks,S0,Q,X0,Qr,Xr,S,R,X,t,V,t1,S1,X1,Si,Xi,SS,XX,Xn,dt,rg,rd:real;
  zS,zX,pt,pS,pX:array[0..100] of real;

implementation

uses U_SeriesOutput, U_SeriesTheory;

{$R *.DFM}

procedure TfrmSeriesInput.btnClearClick(Sender: TObject);
begin
  edtY.text:='';
  edtkd.text:='';
  edtk.text:='';
  edtKs.text:='';
  edtQ.text:='';
  edtS0.text:='';
  edtX0.text:='';
  edtQr.text:='';
  edtXr.text:='';
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  edtS.text:='';
  edtn.text:='';
end;

procedure TfrmSeriesInput.btnNextClick(Sender: TObject);
{-----------------------------------------------}
function funcS(i:integer; var S:real):real;
begin
  funcS:=(Ks+S)*(zS[i-1]-S)*(1+R)/(t*k*S)
       -zX[i-1]*(1+R)/((1+R)+kd*t-(k*Y*S*t)/(Ks+S));
end;
{-----------------------------------------------}
function funcX(i:integer; var X:real):real;
begin
  funcX:=(Ks+zS[i])*(zS[i-1]-zS[i])/(k*X*zS[i])
       -(zX[i-1]-X)*(1+R)/(kd*X-(k*Y*X*zS[i])/(Ks+zS[i]));
end;
{-----------------------------------------------}
procedure findS(i:integer; Sl,Su:real; var S1:real);
begin
  S1:=(Sl+Su)/2;
  repeat
    SS:=S1;
    S1:=(Sl*funcS(i,Su)-Su*funcS(i,Sl))/(funcS(i,Su)-funcS(i,Sl));
    if funcS(i,Sl)*funcS(i,S1)>0 then Sl:=S1
      else if funcS(i,Sl)*funcS(i,S1)<0 then Su:=S1
        else SS:=S1;
  until abs((SS-S1)*100/S1)<0.0001;
end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{-------------------------------------------}
procedure findX(i:integer; Xl,Xu:real; var X1:real);
begin
  X1:=(Xl+Xu)/2;
  repeat
    XX:=X1;
    X1:=(Xl*funcX(i,Xu)-Xu*funcX(i,Xl))/(funcX(i,Xu)-funcX(i,Xl));
    if funcX(i,Xl)*funcX(i,X1)>0 then Xl:=X1
      else if funcX(i,Xl)*funcX(i,X1)<0 then Xu:=X1
        else XX:=X1;
  until abs((XX-X1)*100/X1)<0.0001;
end;
{-------------------------------------------}
function funct(t1:real):real;
begin
  t:=t1;
  for i:=1 to n-1 do
  begin
    findS(i,zS[i-1],zS[n],zS[i]);
    findX(i,zX[i-1],Xr,zX[i]);
  end;
  funct:=(Ks+zS[n])*(zS[n-1]-zS[n])*(1+R)/(t*k*zS[n])
       -zX[n-1]*(1+R)/((1+R)+kd*t-(k*Y*zS[n]*t)/(Ks+zS[n]));
  Xn:=(Ks+zS[n])*(zS[n-1]-zS[n])*(1+R)/(t*k*zS[n]);
end;
{-------------------------------------------}
procedure findt(tl,tu:real; var t1:real);
begin
  repeat
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    dt:=-(funct(tu)*(tl-tu))/(funct(tl)-funct(tu));
    tl:=tu;
    tu:=tu+dt;
  until abs(dt*100/tu)<0.0001;
end;
{-----------------------------------------}
begin
  Y:=strtofloat(edtY.text);
  kd:=strtofloat(edtkd.text);
  k:=strtofloat(edtk.text);
  Ks:=strtofloat(edtKs.text);
  Q:=strtofloat(edtQ.text);
  S0:=strtofloat(edtS0.text);
  X0:=strtofloat(edtX0.text);
  Qr:=strtofloat(edtQr.text);
  Xr:=strtofloat(edtXr.text);
  S:=strtofloat(edtS.text);
  n:=strtoint(edtn.text);
  R:=Qr/Q;
  Si:=(S0+R*S)/(1+R);
  Xi:=(X0+R*Xr)/(1+R);
  zS[0]:=Si;
  zX[0]:=Xi;
  zS[n]:=S;
  findt(0.01,0.011,t);
  t1:=t;
  V:=Q*t;
  pt[0]:=0;
  pS[0]:=Si;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
pX[0]:=Xi;
for i:=1 to 99 do
begin
  t:=t1*i/99;
  for j:=1 to n do
  begin
    findS(j,Si,S,zS[j]);
    findX(j,Xi,Xn,zX[j]);
  end;
  pt[i]:=t;
  pS[i]:=zS[n];
  pX[i]:=zX[n];
end;
rg:=k*Y*zX[n]*zS[n]/(Ks+zS[n]);
rd:=kd*zX[n];
frmSeriesInput.hide;
frmSeriesOutput.show;
end;

procedure TfrmSeriesInput.btnBackClick(Sender: TObject);
begin
  frmSeriesInput.close;
  frmSeriesOutput.close;
end;

procedure TfrmSeriesInput.btnTheoryClick(Sender: TObject);
begin
  frmSeriesInput.Hide;
  frmSeriesTheory.show;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
end;

end.

unit U_SeriesOutput;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, TeEngine, Series, ExtCtrls, TeeProcs, Chart;

type
  TfrmSeriesOutput = class(TForm)
    Chart1: TChart;
    Series1: TLineSeries;
    Chart2: TChart;
    grbResult: TGroupBox;
    lblt: TLabel;
    lblV: TLabel;
    edtt: TEdit;
    edtV: TEdit;
    btnBack: TButton;
    grbEndogenous: TGroupBox;
    lblrg: TLabel;
    lblrd: TLabel;
    edtrg: TEdit;
    edtrd: TEdit;
    Series2: TLineSeries;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    procedure btnBackClick(Sender: TObject);
    procedure FormCreate(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  frmSeriesOutput: TfrmSeriesOutput;

implementation

uses U_SeriesInput;

{$R *.DFM}

procedure TfrmSeriesOutput.btnBackClick(Sender: TObject);
begin
  series1.clear;
  series2.clear;
  frmSeriesOutput.hide;
  frmSeriesInput.show;
end;

procedure TfrmSeriesOutput.FormCreate(Sender: TObject);
var i:integer;
    stt,stV,strg,strd:string;
begin
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
for i:=0 to 99 do
 begin
   series1.addXY(pt[i],pS[i],'',clred);
   series2.addXY(pt[i],pX[i],'',clblue);
 end;
 str(t:0:2,stt);
 str(V:0:2,stV);
 str(rg:0:2,strg);
 str(rd:0:2,strd);
 edtt.text:=stt;
 edtV.text:=stV;
 edtrg.text:=strg;
 edtrd.text:=strd;
end;

end.

unit U_SeriesTheory;

interface

uses
 Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
 StdCtrls;

type
 TfrmSeriesTheory = class(TForm)
   memSeries: TMemo;
   btnBack: TButton;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    procedure btnBackClick(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  frmSeriesTheory: TfrmSeriesTheory;

implementation

uses U_SeriesInput;

{$R *.DFM}

procedure TfrmSeriesTheory.btnBackClick(Sender: TObject);
begin
  frmSeriesTheory.close;
  frmSeriesInput.show;
end;

end.

unit U_RBCInput;

interface

uses
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, ExtCtrls;

type
  TfrmRBCInput = class(TForm)
    Image1: TImage;
    grbInfluentWater: TGroupBox;
    lblS0: TLabel;
    grbEffluentWater: TGroupBox;
    edtS: TEdit;
    btnClear: TButton;
    btnCalculate: TButton;
    lblQ: TLabel;
    edtQ: TEdit;
    grbKineticCoefficients: TGroupBox;
    lblKs: TLabel;
    edtKs: TEdit;
    lblP: TLabel;
    edtP: TEdit;
    lblS: TLabel;
    btnBack: TButton;
    btnTheory: TButton;
    edtS0: TEdit;
    procedure btnClearClick(Sender: TObject);
    procedure btnCalculateClick(Sender: TObject);
    procedure btnBackClick(Sender: TObject);
    procedure btnTheoryClick(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  frmRBCInput: TfrmRBCInput;
  i,j,n:integer;
  Ks,P,S0,Q,S,t,Si,A1,AA,sumS:real;
  zS,A:array[0..10] of real;

implementation

uses U_RBCOutput, U_RBCTheory;

{$R *.DFM}

procedure TfrmRBCInput.btnClearClick(Sender: TObject);
begin
  edtKs.text:='';
  edtP.text:='';
  edtQ.text:='';
  edtS0.text:='';
  edtS.text:='';
end;

procedure TfrmRBCInput.btnCalculateClick(Sender: TObject);
{-------------------------------------------}
function funcA(AAA:real):real;
begin
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  zS[j]:=S;
  for i:=j-1 downto 0 do
    zS[i]:=AAA*P*zS[i+1]/(Q*(Ks+zS[i+1]))+zS[i+1];
  funcA:=S0-zS[0];
end;
{-----------------------------------------------}
procedure findA(Al,Au:real; var A1:real);
begin
  A1:=(Al+Au)/2;
  repeat
    AA:=A1;
    A1:=(Al*funcA(Au)-Au*funcA(Al))/(funcA(Au)-funcA(Al));
    if funcA(Al)*funcA(A1)>0 then Al:=A1
      else if funcA(Al)*funcA(A1)<0 then Au:=A1
        else AA:=A1;
  until abs((AA-A1)*100/A1)<0.0001;
end;
{-----------------------------------------------}
begin
  Ks:=strtofloat(edtKs.text);
  P:=strtofloat(edtP.text);
  Q:=strtofloat(edtQ.text);
  S0:=strtofloat(edtS0.text);
  S:=strtofloat(edtS.text);
  A[1]:=Q*(S0-S)*(Ks+S)/(P*S);
  for j:=2 to 10 do
    findA(A[1]/(j*j*j),A[1],A[j]);
  frmRBCInput.hide;
  frmRBCOutput.show;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
end;

procedure TfrmRBCInput.btnBackClick(Sender: TObject);
begin
frmRBCInput.close;
frmRBCOutput.close;
end;

procedure TfrmRBCInput.btnTheoryClick(Sender: TObject);
begin
frmRBCInput.Hide;
frmRBCTheory.show;
end;

end.

unit U_RBCOutput;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, TeEngine, Series, ExtCtrls, TeeProcs, Chart;

type
  TfrmRBCOutput = class(TForm)
    Chart1: TChart;
    btnBack: TButton;
    Series1: TBarSeries;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    procedure FormCreate(Sender: TObject);
    procedure btnBackClick(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  frmRBCOutput: TfrmRBCOutput;

implementation

uses U_RBCInput;

{$R *.DFM}

procedure TfrmRBCOutput.FormCreate(Sender: TObject);
var i:integer;
begin
  for i:=1 to 10 do
    series1.addxy(i,i*A[i],'',clAqua);
end;

procedure TfrmRBCOutput.btnBackClick(Sender: TObject);
begin
  Series1.clear;
  frmRBCOutput.hide;
  frmRBCInput.show;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
end;

end.

unit U_RBCTheory;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls;

type
  TfrmRBCTheory = class(TForm)
    memRBC: TMemo;
    btnBack: TButton;
    procedure btnBackClick(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  frmRBCTheory: TfrmRBCTheory;

implementation

uses U_RBCInput;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{$R *.DFM}

procedure TfrmRBCTheory.btnBackClick(Sender: TObject);
begin
frmRBCTheory.close;
frmRBCInput.show;
end;
end.
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้