

ทอรวมตะกอน Coagulation in Pipe

ถาวร ลีลาตระกุล*¹
Mr. Thavorn Leelatrakul*¹

ร.ท.สุรินทร์ พลสมบุรณ์*²
Lt. Surin Palasomboon*²

รศ.ดร.ธีระ เกรอด*³
Assoc. Prof. Theera Karot, Ph.D.*³

บทคัดย่อ

การรวมตะกอนเป็นกระบวนการที่ใช้ร่วมกับการตกตะกอน และการกรองสำหรับกำจัดความขุ่นในน้ำผิวดิน กระบวนการรวมตะกอนในท่อตามการวิจัยนี้รวมการทำลายสภาวะคงตัวและการสมานตะกอนไว้ในถึงปฏิกรณ์เดียวกัน ทอรวมตะกอนที่ใช้เป็นท่อเหล็กอบสังกะสีทำงานแบบไหลต่อเนื่อง น้ำดิบใช้น้ำขุ่นสังเคราะห์จากเบนโทไนท์ มีความขุ่น 50 NTU ตลอดจนการทดลองพารามิเตอร์ควบคุมที่ศึกษาได้แก่ความเร็วเกรเดียนท์ (G) เวลาตก (T) และความเข้มข้นของสารส้ม (C) โดยแปรค่า G จาก 30 ถึง 3600 วินาที⁻¹ แปรค่า T จาก 1 ถึง 552 วินาที และแปรค่า C จาก 10 ถึง 40 มก./ล.

ผลการวิจัยแสดงว่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นขึ้นอยู่กับค่า G T และ C ค่าความเร็วเกรเดียนท์ที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงสุด (G') มีค่าแปรจาก 180 ถึง 360 วินาที⁻¹ โดยค่า G' ไม่ขึ้นกับค่า T แต่ขึ้นอยู่กับค่า C ความสัมพันธ์ระหว่าง G และ T ของกระบวนการรวมตะกอนในท่อที่สามารถกำจัดความขุ่นให้อยู่ในเกณฑ์ที่การกรองยอมรับได้เป็นไปตามสมการ

$$T = 4440 * G^{-0.65}$$

*1 นักวิชาการสิ่งแวดล้อม 4 สำนักบริการกำจัดกาก กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

*2 อาจารย์ กองวิชาวิศวกรรมโยธา ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

*3 รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ABSTRACT

Coagulation is normally used in combination with sedimentation and filtration for removal of turbidity in surface water. This coagulation in pipe combined destabilization and flocculation in the same reactor. The galvanized steel pipe was used as the reactor and operated on a continuous flow basin. Raw water with approximately 50 NTU turbidity was synthesized from bentonite clay. The parameters studied were velocity gradient (G), detention time (T) and alum concentration (C). The range of G, T and C varied from 30 to 3600 sec⁻¹, 1 to 552 sec and 10 to 40 mg./l. respectively.

The experimental results revealed that the velocity gradient which gave the maximum efficiency for turbidity removal (G') varied from 180 to 360 sec⁻¹. The values of G' did not depend on T but depend on C. The relation between G and T that, resulted coagulation in pipe could remove turbidity down to the acceptable level for filtration, is followed this empirical formula

$$T = 4440 * G^{-0.65}$$

*1 Environmental technologist, Department of Industrial Work, Ministry of Industry

*2 Instructor, Department of Civil Engineering, Chulachomkiao Royal Military Academy

*3 Associate Professor, Department of Environmental Engineering, Chulalongkorn University

1. บทนำ

กระบวนการรวมตะกอนโดยทั่วไปซึ่งได้แก่กระบวนการรวมตะกอนแบบทั่วไป (Conventional Coagulation Process) และกระบวนการรวมตะกอนในถังตะกอนสัมผัส (Solid Contact Coagulation Process) มีลักษณะร่วมที่สำคัญคือ ถึงปฏิกรณ์กวนผสมเร็วของขั้นผสมเร็ว (Rapid Mixing Stage) และขั้นสมานตะกอน (Flocculation Stage) แยกออกจากกัน ถึงปฏิกรณ์ของขั้นผสมเร็ว เป็นถึงปฏิกรณ์กวนผสมเร็ว หรือถึงปฏิกรณ์ไหลตรง และถึงปฏิกรณ์ของขั้นสมานตะกอนโดยทั่วไป ได้แก่ ถึงปฏิกรณ์แบบใบพัดกวน ลักษณะเช่นนี้ทำให้เกิดข้อด้อยบางประการ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายขั้นต้นและค่าดำเนินการสูง และต้องใช้ผู้มีความรู้ความชำนาญสูง สำหรับควบคุมให้กระบวนการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ

แนวความคิดหลักของท่อรวมตะกอน คือรวมการผสมเร็วและสมานตะกอนไว้ในถึงปฏิกรณ์เดียวกัน ใช้ถึงปฏิกรณ์แบบปลั๊กโฟลวที่ทำจากท่อ ซึ่งทำให้

ประหยัดค่าใช้จ่ายขั้นต้นทั้งในด้านพื้นที่และค่าก่อสร้าง นอกจากนี้ยังเป็นกระบวนการรวมตะกอนที่ไม่ต้องใช้เครื่องมือกลสำหรับสร้างความปั่นป่วนในน้ำ ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายทั้งขั้นต้นและขั้นดำเนินการ โดยผลได้ที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือควบคุมการทำงานของกระบวนการทำงานของกระบวนการได้ง่าย ลักษณะดังกล่าวนี้สอดคล้องกับความต้องการของระบบผลิตน้ำประปาขนาดเล็ก หรือประปาชนบท ซึ่งมีข้อจำกัดทางด้านงบประมาณและบุคลากร

2. แนวความคิดของกระบวนการรวมตะกอนในท่อ

การผสมเร็วในท่อใช้กันในกระบวนการรวมตะกอนของถึงตะกอนสัมผัส ในขณะที่การสมานตะกอนในท่อยังมิได้รับการนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการรวมตะกอนอย่างจริงจัง Vrale and Jordan (1) ได้ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการผสมเร็วในถึงปฏิกรณ์ไหลตรงแบบ

ท่อ ที่มีลักษณะการเติมสารเคมี แตกต่างกันกับการผสมเร็วในถังปฏิกรณ์กวนผสมบูรณ์ที่ใช้ใบพัดเป็นเครื่องมือแสดงในรูปที่ 1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกระทำโดยการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ของอัตราการรวมตะกอนปรากฏหรือ Kapp (Apparent Aggregation Rate Coefficient) หลังจากผ่านการผสมตามตะกอนแบบจาร์ ซึ่งกำหนดให้คงที่ทุกการทดลอง ผลการทดลองพบว่าการผสมเร็วในถังปฏิกรณ์แบบเอกทิส (Plug Flow) ทุกชนิดให้ประสิทธิภาพการผสมเร็วสูงกว่าถังปฏิกรณ์กวนผสมบูรณ์ และประเมินจากผลการทดลองว่า สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผสมเร็วให้สูงขึ้นไม่ต่ำกว่า 3.5 เท่า โดยใช้ถังปฏิกรณ์เอกทิสแบบท่อแทนที่ถังปฏิกรณ์กวนผสมบูรณ์ที่ใช้เครื่องมือกล

สุรินทร์ พลผสมบูรณ์ (3) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการผสมเร็วในท่อ เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของ G และ T โดยการไหลของน้ำในท่อผสมเร็วมีลักษณะการไหลแบบบอลวน (Turbulent Flow) โดยมีค่าเรย์โนลด์์นัมเบอร์แปรจาก 8,000 ถึง 40,000 ผลการทดลองปรากฏว่า G ที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 400 วินาที^{-1} ที่ $20 < T < 60$ วินาที และเท่ากับ 2600 วินาที^{-1} ที่ $1 < T < 20$ วินาที ผลคูณ GT ที่เหมาะสมมีค่าแปรจาก 10,000 ถึง 20,000 และสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง G T และ C

ในรูปสมการเอ็มไพริกัล คือ

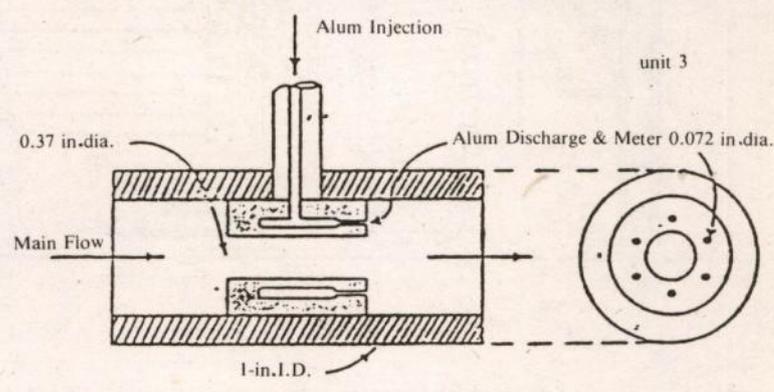
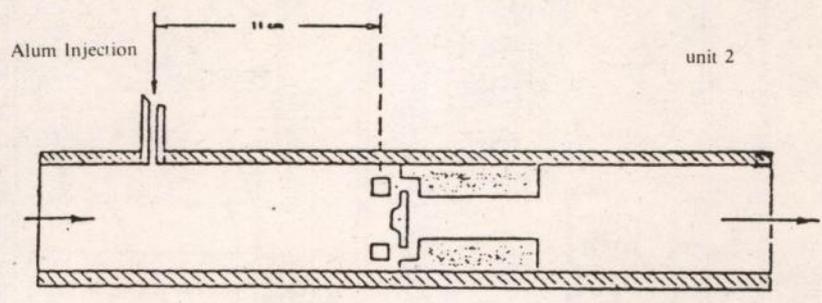
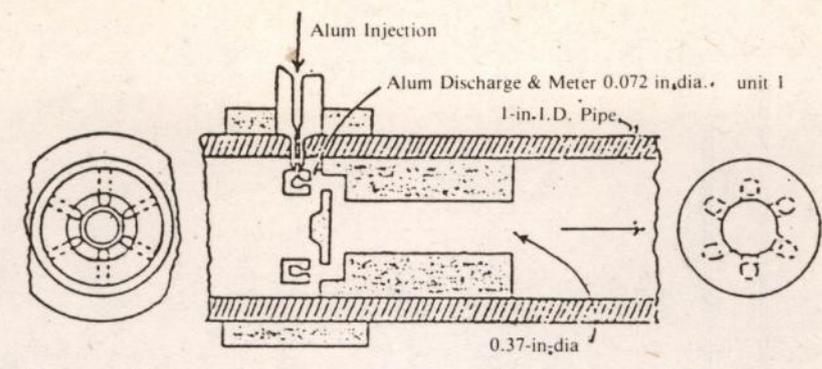
$$G * T_{\text{opt}} * C^{0.64} = 100,000$$

เมื่อ T_{opt} คือ t ที่เหมาะสม และ C คือปริมาณสารลัมที่ใช้

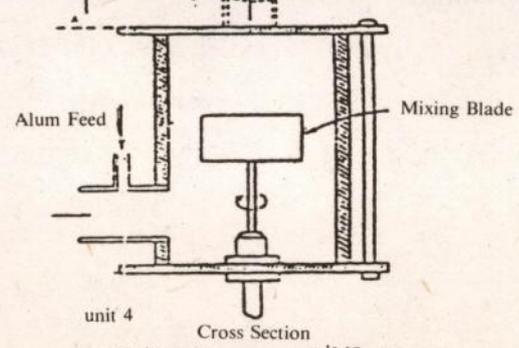
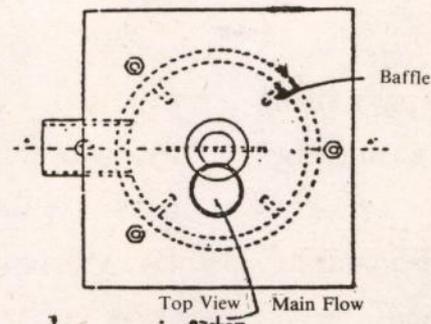
Notthakun (2) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับกระบวนการกรองโดยตรงที่ประกอบด้วย ท่อสมานตะกอนวนเวียน (Spiral Tube Flocculator) ดังแสดงในรูปที่ 2 การไหลของน้ำในท่อสมานตะกอนเป็นการไหลแบบราบเรียบ (Larminar Flow) โดยมีค่าเรย์โนลด์์นัมเบอร์แปรจาก 404 ถึง 917 ผลการทดลองในส่วนของท่อสมานตะกอนวนเวียนพบว่า ประสิทธิภาพของการสมานตะกอนแปรตามขนาดของตะกอน โดยขนาดของตะกอนแปรตาม HRT และแปรกลับกับ G และพบว่า ตะกอนที่ได้จากท่อสมานตะกอนแบบวนเวียนโดยทั่วไป จะมีขนาดสม่ำเสมอที่ค่า HRT และ G หนึ่ง

3. อุปกรณ์เครื่องมือทดลองและวิธีทดลอง

ผังของการจัดวางเครื่องมือทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 3 เครื่องสูบน้ำแบบหยอโข่งสูบน้ำดิบในถังเก็บน้ำดิบส่งไปตามท่อรวมตะกอน อัตราการไหลจะถูกควบคุมโดยใช้ประตูน้ำลัดผ่าน รวมทั้งประตูน้ำของท่อรวมตะกอนซึ่งต่อกันแบบขนาน ปริมาณการไหลของน้ำอ่านได้จากโรตاميเตอร์ (Rotameter) สารรวมตะกอนที่ใช้คือ

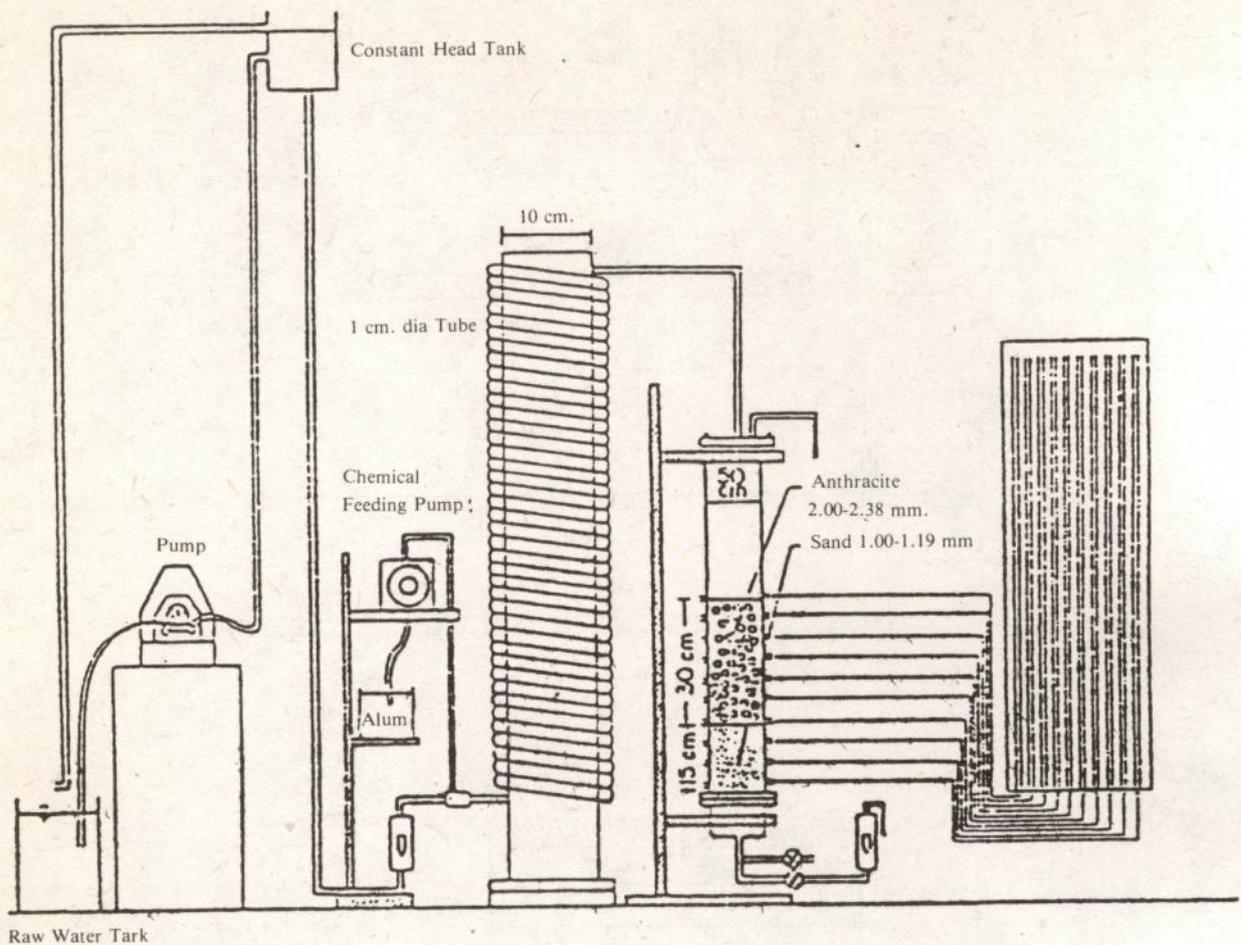


(ก) ดังปฏิกรณ์ไหลตรงแบบท่อ



(ข) ดังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ที่ใช้ใบพัด

รูปที่ 1 ดังปฏิกรณ์ไหลตรงแบบท่อและดังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์

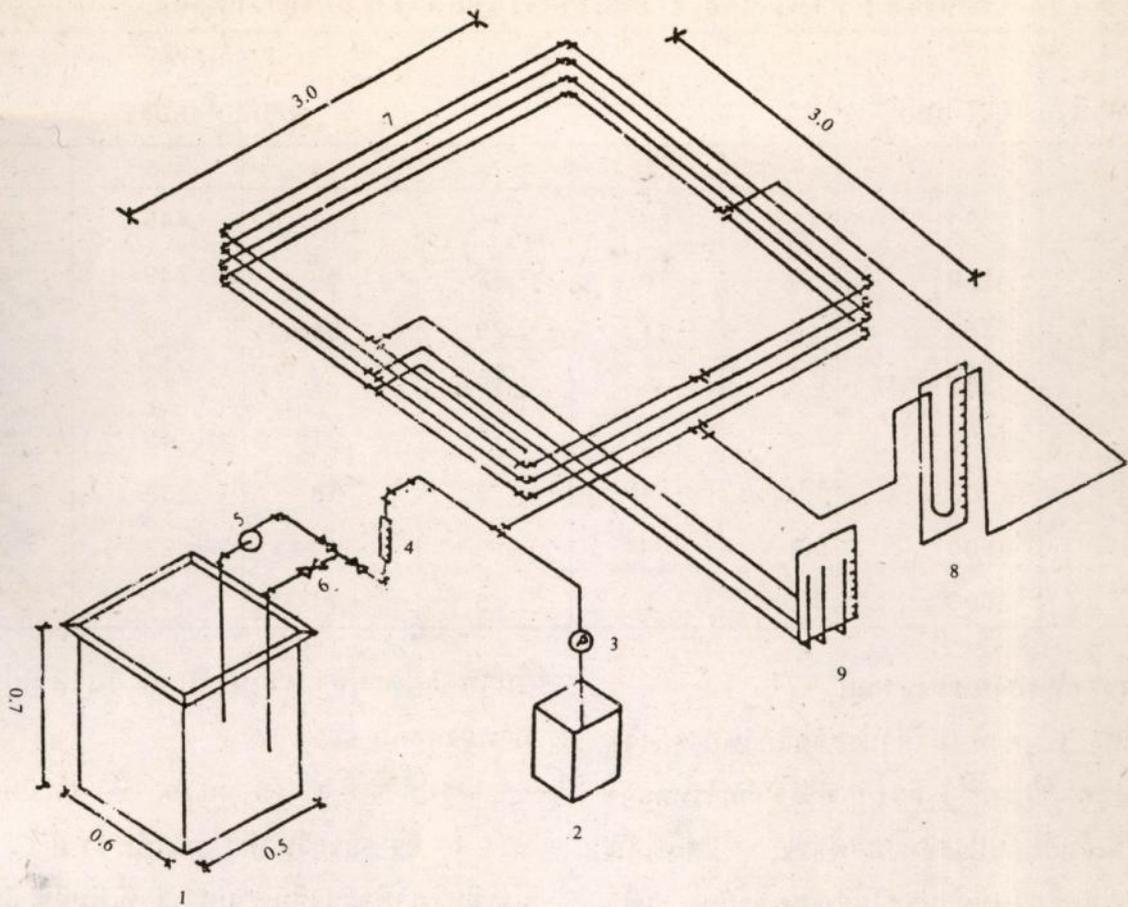


รูปที่ 2 ท่อสมานตะกอนวนเวียนในกระบวนการกรองโดยตรง

สารละลายสารส้ม จะถูกฉีดเข้าที่ตอนต้นของท่อรวมตะกอน ด้วยอัตราการไหลและความเข้มข้นที่กำหนด

น้ำดิบที่ใช้เป็นน้ำขุ่นสังเคราะห์จากดินเหนียวเป็นโทไนท์ เตรียมให้มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงของอนุภาคคอลลอยด์ คือเล็กกว่า 1 ไมครอน ทำการเจือจางน้ำขุ่นสังเคราะห์ที่เตรียมไว้ให้มีความขุ่นคงที่ 50 NTU ซึ่งจะมีค่า pH ประมาณ 7.6 และมี

ค่าความเป็นด่างประมาณ 120 มก./ล.ของแคลเซียมคาร์บอเนต ใช้สารละลายสารส้มเป็นสารรวมตะกอนสารส้มที่ใช้เป็นชนิดผงมีสูตรทางเคมี $Al_2(SO_4)_3 \cdot H_2O$ เกรดห้องปฏิบัติการ ผลิตโดย May and Bader Ltd. เตรียมสารละลายสารส้มสำรอง (Stock) ให้มีความเข้มข้น 1% บ่มโดยการกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง แล้วเจือจางสารละลายสารส้มให้ได้ความเข้มข้นที่จะใช้ในการทดลองต่อไป



- | | | |
|-------------------------|--------------------------|-----------------------|
| 1. ถังน้ำขุ่นสังเคราะห์ | 4. เครื่องวัดอัตราการไหล | 7. ท่อเหล็กชุบสังกะสี |
| 2. ถังสารละลายสารส้ม | 5. บั๊มทอยโป่ง | 8. มาโนมิเตอร์ |
| 3. ไตอะแฟรมบั๊ม | 6. วาล์ว | 9. พีโซมิเตอร์ |

รูปที่ 3 การจัดวางเครื่องมือทดลอง

การควบคุมค่า G และ T ของท่อรวมตะกอน ทำโดยการปรับอัตราการไหลของน้ำดิบเข้าท่อรวมตะกอนด้วยอัตราการไหล 1-25 ลิตร/นาที ค่า G และ T ที่อัตราการไหลต่าง ๆ กันแสดงในตารางที่ 1 การเก็บตัวอย่างทำเมื่อได้ตรวจสอบจนแน่ใจว่าระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady State) แล้ว นำตัวอย่างที่เก็บใส่ถ้วยจาร์ขนาด 1 ลิตร แล้วปล่อยให้

ให้ตัวอย่างน้ำที่ได้จากท่อรวมตะกอนตกตะกอนเป็นเวลา 5 นาที โดยจะเก็บตัวอย่างน้ำใส (Supernatant) ด้วยวิธีไซฟอนโดยท่อที่อยู่ลึกจากผิวน้ำ 9.5 เซนติเมตร ค่าอัตราน้ำล้น (OFR) ที่ได้เท่ากับ 1.9 ซม./นาที หรือ 1.1 เมตร/ชั่วโมง ความเข้มข้นของสารละลายสารส้มที่ใช้แปรเปลี่ยนจาก 10 15 20 30 และ 40 มก./ล.ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ค่า G และ T ที่อัตราการไหลต่าง ๆ ของการทดลอง

Q (ล./นาท)	G (วินาที ⁻¹)	T (วินาที)					
		จุดเก็บตัวอย่าง					
		1	2	3	4	5	6
1	30	18	53	125	267	445	552
3	180	6	18	42	89	149	184
5	360	4	11	25	53	89	110
7	580	3	8	18	38	64	79
10	1000	2	5	12	27	45	55
15	1700	1.2	4	8	18	30	37
20	2600	0.9	3	6	13	22	28
25	3600	0.7	2	5	11	18	22

4. ผลการทดลองและวิจารณ์

ที่ค่า C คงที่ นำค่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่ค่า G และ T ต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลอง แสดงเป็นเส้นระดับประสิทธิภาพต่าง ๆ แต่ละเส้นระดับประสิทธิภาพมีค่าประสิทธิภาพเท่ากัน เพื่อประเมินถึงความสัมพันธ์ระหว่าง G และ T ที่มีต่อประสิทธิภาพ ดังแสดงในรูปที่ 4 ถึง 7 หนึ่ง กำหนดให้ T_0 คือ T ที่มีค่าต่ำสุดที่เส้นระดับประสิทธิภาพหนึ่ง และ G_T คือค่า G ที่ T_0

รูปที่ 4 ที่ C 15 มก./ล. เมื่อ G มีค่าอยู่ในช่วง 180 ถึง 580 วินาที⁻¹ จะเห็นว่าที่ G หนึ่ง ๆ ประสิทธิภาพจะสูงขึ้นตามค่า T ที่เพิ่มขึ้น และที่ T หนึ่ง ๆ ประสิทธิภาพอาจสูงหรือต่ำลงตามค่า G ที่เพิ่มขึ้น กล่าวคือเมื่อ G_T เท่ากับ 360 วินาที⁻¹ ช่วงแรกที่ G ต่ำกว่า G_T G ที่เพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น G และ T มีความสัมพันธ์กันคือเมื่อ G มีค่าเพิ่มขึ้น T จะมียาลดลง ในนัยกลับกันเมื่อ G มีค่าต่ำลง T จะมียาลสูงขึ้นที่เส้นระดับประสิทธิภาพเดียวกัน ช่วงที่สองเมื่อ G สูงกว่า G_T G ที่เพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพต่ำลง G และ T ไม่มีความสัมพันธ์กันดังเช่นในช่วงแรก เมื่อ G เพิ่มขึ้นจะต้องเพิ่มค่า T จึงจะสามารถคงประสิทธิภาพเพิ่มไว้ได้ จากที่กล่าวมาจะพบว่า G_T มีค่าเท่ากับ 360

วินาที⁻¹ โดยมีค่า T_0 เท่ากับ 89 วินาที ที่ประสิทธิภาพสูงสุดคือ 66%

รูปที่ 5 ที่ C 20 มก./ล. เมื่อ G มีค่าอยู่ในช่วง 30 ถึง 580 วินาที⁻¹ จะเห็นว่าที่ G หนึ่ง ๆ ประสิทธิภาพจะสูงขึ้นตามค่า T ที่เพิ่มขึ้น และที่ T หนึ่ง ๆ ประสิทธิภาพอาจสูงหรือต่ำลงตามค่า G ที่เพิ่มขึ้น กล่าวคือเมื่อ G_T เท่ากับ 360 วินาที⁻¹ ช่วงแรกที่ G ต่ำกว่า G_T G ที่เพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น G และ T มีความสัมพันธ์กันคือเมื่อ G มีค่าเพิ่มขึ้น T จะมียาลดลง ในนัยกลับกันเมื่อ G มีค่าต่ำลง T จะมียาลสูงขึ้นที่เส้นระดับประสิทธิภาพเดียวกัน ช่วงที่สองเมื่อ G สูงกว่า G_T G ที่เพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพต่ำลง G และ T ไม่มีความสัมพันธ์กันดังเช่นในช่วงแรก เมื่อ G เพิ่มขึ้นจะต้องเพิ่มค่า T จึงจะสามารถคงประสิทธิภาพเพิ่มไว้ได้ จากที่กล่าวมาจะพบว่า G_T มีค่าเท่ากับ 360 วินาที⁻¹ โดยมีค่า T_0 เท่ากับ 89 วินาที ที่ประสิทธิภาพสูงสุดคือ 70%

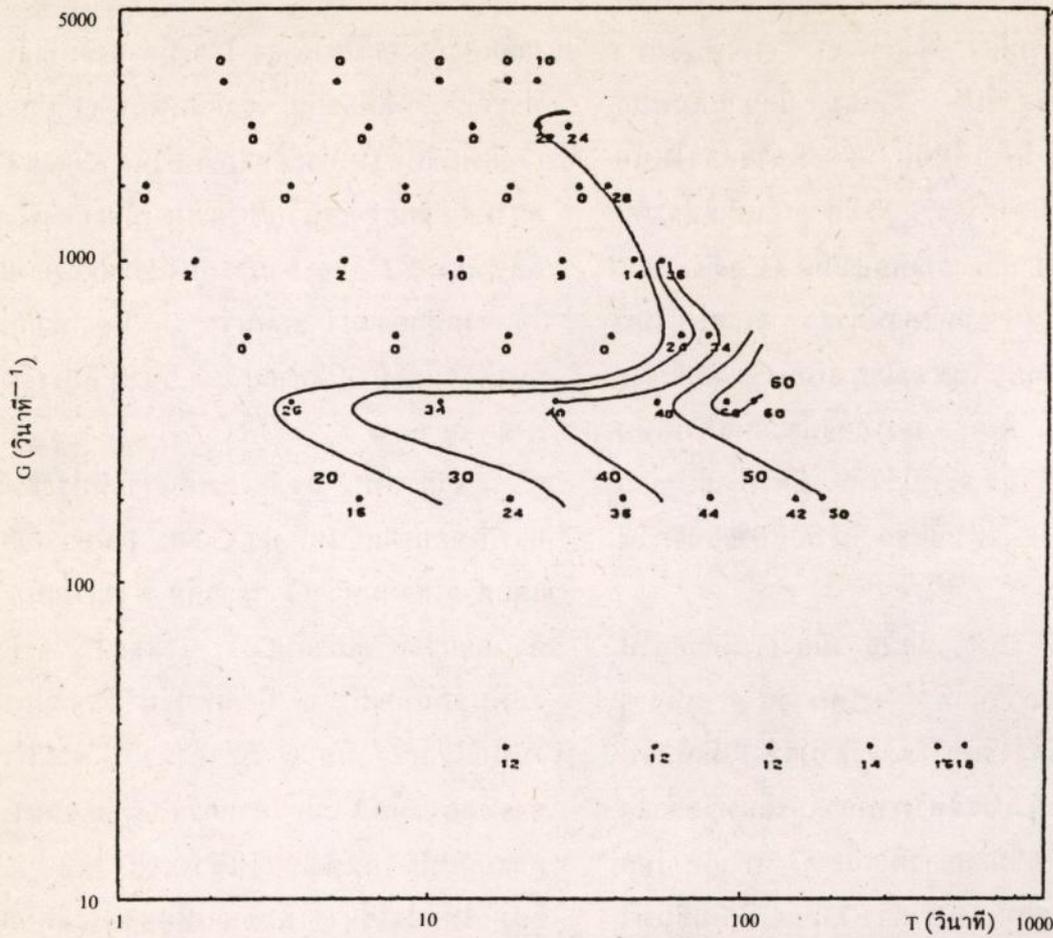
รูปที่ 6 ที่ C 30 มก./ล. เมื่อ G มีค่าอยู่ในช่วง 30 ถึง 1000 วินาที⁻¹ จะเห็นว่าที่ G หนึ่ง ๆ ประสิทธิภาพอาจสูงหรือต่ำลงตามค่า T ที่เพิ่มขึ้น และที่ T หนึ่ง ๆ ประสิทธิภาพอาจสูงหรือต่ำลงตามค่า G ที่เพิ่มขึ้น กล่าวคือเมื่อ G_T เท่ากับ 360

วินาที⁻¹ ช่วงแรกที่ G ต่ำกว่า G_T G ที่เพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น G และ T มีความสัมพันธ์กันคือ เมื่อ G มีค่าเพิ่มขึ้น T จะมีค่าลดลงในนัยกลับกันเมื่อ G มีค่าต่ำลง T จะมีค่าสูงขึ้นที่เส้นระดับประสิทธิภาพเดียวกัน ช่วงที่สองเมื่อ G สูงกว่า G_T G ที่เพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพต่ำลง G และ T ไม่มีความสัมพันธ์ดังเช่นในช่วงแรก เมื่อ G เพิ่มขึ้นจะต้องเพิ่มค่า T จึงจะสามารถคงประสิทธิภาพเดิมไว้ได้ จากที่กล่าวมา จะพบว่า G_T มีค่าเท่ากับ 360 วินาที⁻¹ โดยมี T_0 เท่ากับ 89 วินาที ที่ประสิทธิภาพสูงสุดคือ 80%

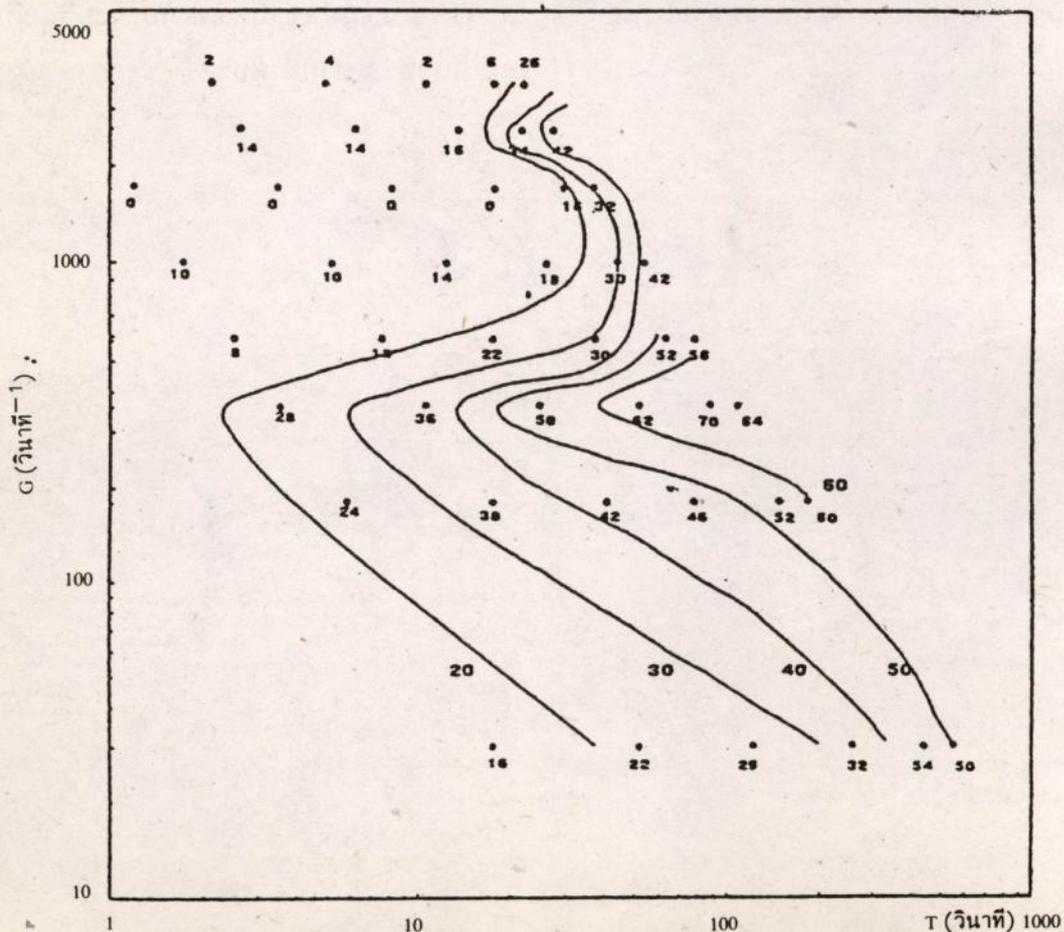
รูปที่ 7 ที่ C 40 มก./ล. เมื่อ G มีค่าอยู่ในช่วง 30 ถึง 580 วินาที⁻¹ จะเห็นว่าที่ G หนึ่ง ๆ ประสิทธิภาพอาจสูงขึ้นหรือต่ำลงตามค่า T ที่เพิ่มขึ้นและที่ T หนึ่ง ๆ ประสิทธิภาพอาจสูงขึ้นหรือต่ำลงตามค่า G ที่เพิ่มขึ้น กล่าวคือเมื่อ G_T เท่ากับ 180 วินาที⁻¹ ช่วงแรกที่ G ต่ำกว่า G_T G ที่เพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น G และ T มีความสัมพันธ์กันคือ เมื่อ G มีค่าเพิ่มขึ้น T จะมีค่าลดลง ในนัย

กลับกันเมื่อ G มีค่าต่ำลง T จะมีค่าสูงขึ้นที่เส้นระดับประสิทธิภาพเดียวกัน ช่วงที่สองเมื่อ G สูงกว่า G_T G ที่เพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพต่ำลง G และ T ไม่มีความสัมพันธ์ดังเช่นในช่วงแรก เมื่อ G เพิ่มขึ้นจะต้องเพิ่มค่า T จึงจะสามารถคงประสิทธิภาพเดิมไว้ได้ จากที่กล่าวมา จะพบว่า G_T มีค่าเท่ากับ 180 วินาที⁻¹ โดยมี T_0 เท่ากับ 184 วินาที ที่ประสิทธิภาพสูงสุดคือ 86%

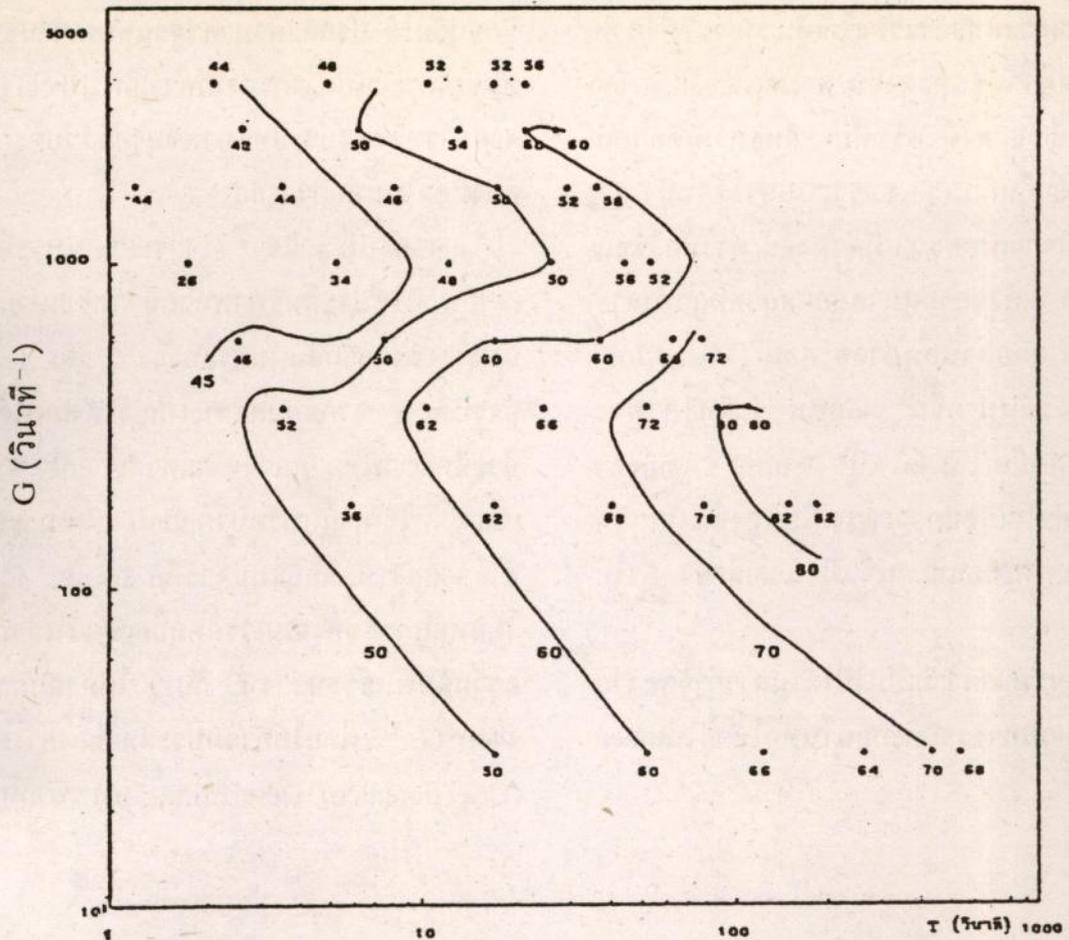
จากรูปที่ 4 ถึง 7 จะเห็นว่า ที่ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นหนึ่ง ๆ G และ T มีความสัมพันธ์แตกต่างกันไปตามค่า G กล่าวคือ ช่วงแรกเมื่อ G มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ G_T G และ T จะมีความสัมพันธ์กันคือเมื่อ G มีค่าเพิ่มขึ้น T จะมีค่าลดลงในนัยกลับกัน เมื่อ G มีค่าต่ำลง T จะมีค่าสูงขึ้น ช่วงที่สอง เมื่อ G มีค่ามากกว่า G_T G และ T ไม่มีความสัมพันธ์กันดังเช่นในช่วงแรก โดย G ที่เพิ่มขึ้นทำให้ต้องใช้ T เพิ่มขึ้น เพื่อคงประสิทธิภาพไว้ในระดับเพิ่ม หนึ่งจะได้ว่าที่ค่า C 15 ถึง 30 มก./ล. และ C 40 มก./ล. G_T มีค่าเท่ากับ 360 วินาที⁻¹ และ 180 วินาที⁻¹ ตามลำดับ



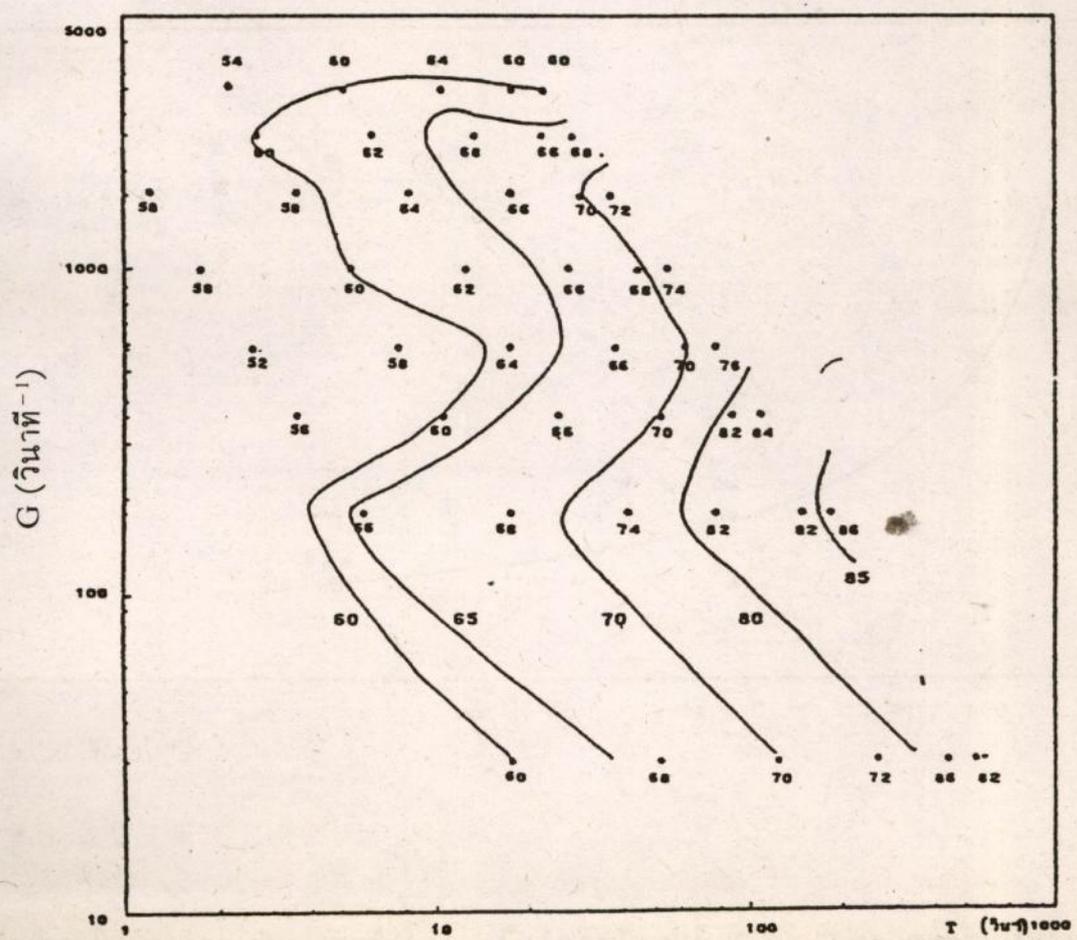
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง T กับ G ในการกำหนดประสิทธิภาพการกำจัดความเข้มข้นที่ C15 มก./ล.



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง T กับ G ในการกำหนดประสิทธิภาพการกำจัดความเข้มข้นที่ C20 มก./ล.



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง T กับ G ในการกำหนดประสิทธิภาพการกำจัดความเข้มข้นที่ C30 มก./ล.



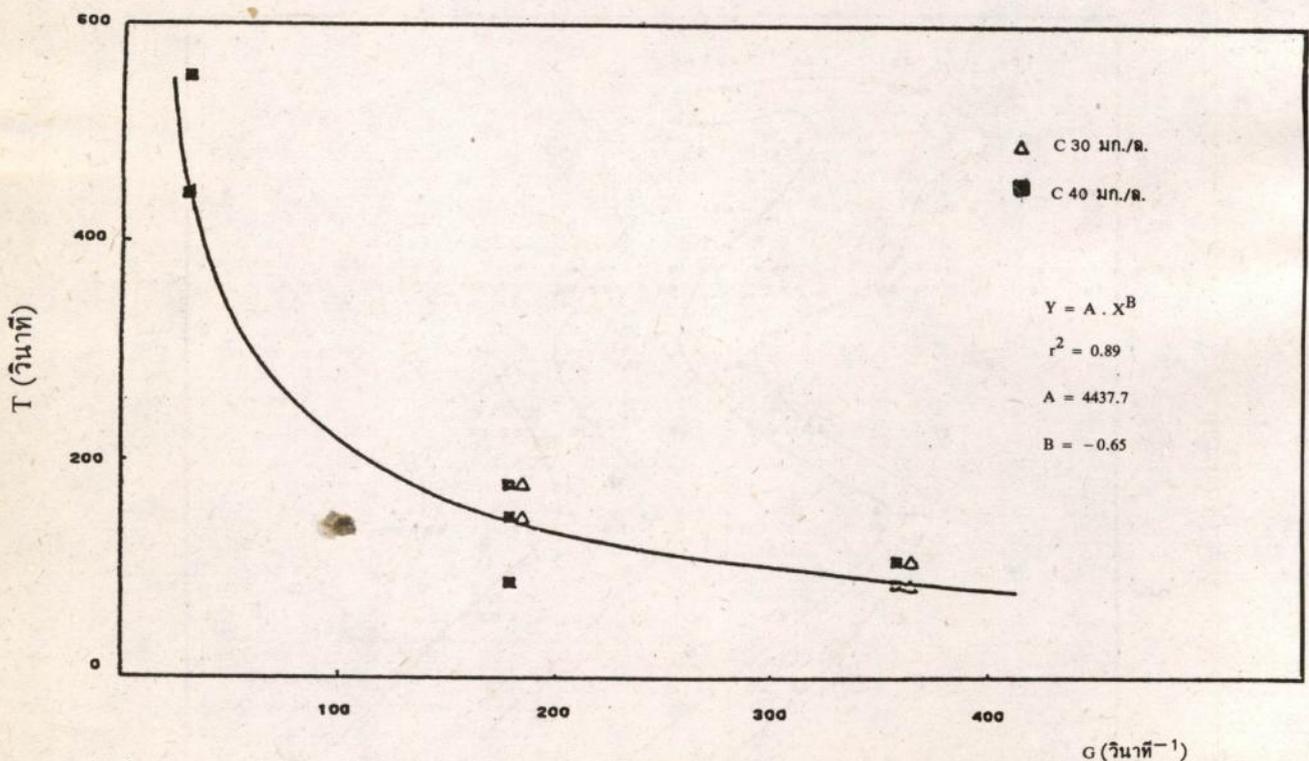
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง T กับ G ในการกำหนดประสิทธิภาพการกำจัดความเข้มข้นที่ C40 มก./ล.

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นจะสูงขึ้น ตามค่า G ที่เพิ่มขึ้น จนถึง G_T ที่ T คงที่ หรือที่ประสิทธิภาพเดียวกัน เราจะลดเวลาเก็บกัก (T) ของระบบลงได้จนถึง T_G ถึง G_T เนื่องจากเมื่อค่า G มีค่าสูงขึ้น ทำให้การชนกันและการรวมตัวของอนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกทำลายสภาวะคงตัว ตลอดจนอนุภาคตะกอน (Microfloc) มีโอกาสสัมผัสกันมากขึ้น จากนั้นประสิทธิภาพจะต่ำลง หรือ T มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่า G ที่ยังคงเพิ่มขึ้นอีก ทำให้เกิดสภาวะแรงเฉือนสูงขึ้น จนเกิดการแตกตัวของตะกอนสมานจนมีขนาดเล็กลง ทำให้ประสิทธิภาพลดลง

การพิจารณาความเป็นไปได้ในการกำจัดความขุ่นโดยกระบวนการรวมตะกอนในท่อให้อยู่ในเกณฑ์

ที่ยอมรับได้ ประกติแล้วมาตรฐานของความขุ่นกระแสเข้าของกระบวนการกรองไม่ควรเกิน 10 NTU ดังนั้นจากการทดลองประสิทธิภาพของท่อรวมตะกอน จึงต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 80%

จากรูปที่ 4 ถึง 7 พิจารณาเส้นประสิทธิภาพเท่ากัน ที่ให้ประสิทธิภาพมากกว่าหรือเท่ากับ 80% นำมาแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง G และ T ได้แสดงดังรูปที่ 8 จากข้อมูลส่วนใหญ่จะสังเกตได้ว่า ค่าประสิทธิภาพที่มากกว่าหรือเท่ากับ 80% จะเกิดขึ้นเมื่อ C ที่ใช้เท่ากับหรือมากกว่า C ที่เหมาะสม (C') ที่ได้จากการทดสอบแบบจาร์คือ 30 และ 40 มก./ล. โดยหลักการของสมการถดถอยเชิงเส้นสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่าง G กับ T ได้ดังสมการ $T = 4440 \cdot G^{-0.65}$ โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) เท่ากับ 0.89



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง G กับ T ที่ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นมากกว่าหรือเท่ากับ 80%

5. บทสรุป

กระบวนการรวมตะกอนในท่อให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ทั้งนี้โดยใช้ค่า C ที่ C' ค่า G แปรจาก 30-360 วินาที⁻¹ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้ค่า T ให้เหมาะสมกับค่า G นั้น ๆ ตามสมการ

$$T = 4440 * G^{-0.65}$$

ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ควบคุม G T และ C ดังกล่าวทำให้วิศวกรสามารถกำหนดแนวทางในการออกแบบ เพื่อประยุกต์ใช้กระบวนการรวมตะกอนในท่อให้มีประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้น จนใกล้เคียงกับกระบวนการรวมตะกอนโดยทั่วไป เพื่อเสริมศักยภาพของกระบวนการรวมตะกอนในท่อซึ่งเหนือกว่ากระบวนการรวมตะกอนโดยทั่วไป ทั้งในด้านการประหยัดและการควบคุม

6. บรรณานุกรม

1. Vrale L. & Jordan R.M., "Rapid Mixing in Water Treatment", J. Am. Wat. Wks. Ass., 65,52-58,1971
2. Nottakun, S., "Optimization of Direct Filtration.", Master Engineering Degree Thesis, No. Ev-84-6, AIT, Bangkok, 1984
3. ร.ท.สุรินทร์ พละสมบุรณ์ และ รศ.ดร.ธีระ เกรอด, "พารามิเตอร์ควบคุมการกวนเร็วในท่อแนวระดับ", เอกสารประกอบการสัมมนาทางวิชาการระดับชาติ เรื่องเทคโนโลยีน้ำและน้ำเสีย จัดโดย สวสท.,วศ.จพ. และ วสท., 12-13 มีนาคม 2530
4. ถาวร ลีลาตระกูล, "กระบวนการรวมตะกอนในท่อสำหรับกำจัดความขุ่น", วิทยานิพนธ์ วศ.ม., จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530