หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ผลการทดลองวิจัย

การทดลองในช่วงแรก เป็นการทดลองกำจัดน้ำเสียสังเคราะห์ โดยถังปฏิกรณ์แบบใช้ผ้ากรองเก็บกักกรองตะกอน ดังข้อมูลในภาคผนวก (วันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2521 ถึงวันที่ 14 เมษายน 2521) และสรุปได้เป็นตารางที่ 21 และตารางที่ 22 ซึ่งแสดงค่าอุณหภูมิ, ปริมาณก๊าซที่เกิด, BOD, COD, SS, pH, ด่างแอลคาไลน์, กรดโวลาไทล์, เปอร์เซนต์และปริมาณก๊าซมีเทน, เปอร์เซนต์กำจัด COD ของระบบกำจัดใน SRT ต่าง ๆ กันโดยควบคุม HRT คงที่ที่ 1.2 วัน หรือ Organic loading 0.83 กก.BOD/ม^3. วัน และปริมาตรประสิทธิผล 26.4 ลบ.ดม. อัตราการไหลของน้ำเข้าถัง 22 ลบ.ดม./วัน ผลการทดลองวิจัยในช่วงแรกนี้ ทำให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่าง SRT กับสภาพต่าง ๆ เช่น สภาพน้ำภายหลังจากผ่านการกำจัด ประสิทธิภาพการกำจัด COD การเกิดก๊าซ ปริมาณก๊าซมีเทน ประสิทธิภาพการเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นก๊าซมีเทน และ kinetic parameters ตลอดจนสรุปได้ SRT ที่เหมาะสม สำหรับการทดลองในช่วงหลังเป็นการทดลองกำจัดน้ำเสียเดียวกันกับในช่วงแรก แต่เก็บกักตะกอนโดยการหมุนเวียนวกกลับกากตะกอน ดังข้อมูลในภาคผนวก (วันที่ 17 มกราคม 2522 ถึงวันที่ 30 เมษายน 2522) และสรุปได้เป็นตารางที่ 23 และตารางที่ 24 ซึ่งแสดงปริมาตรก๊าซที่เกิด, เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน, ปริมาตรก๊าซมีเทน, กรดโวลาไทล์, ด่างแอลคาไลน์, pH, COD เข้าสู่ระบบ และออกจากระบบ ตลอดจนผลคำนวณเปอร์เซนต์การกำจัด COD ของระบบกำจัดใน Organic loading ต่าง ๆ กัน ซึ่งเท่ากับว่าใน HRT ต่าง ๆ กัน เพราะความเข้มข้นน้ำเสียที่ทดลองคงที่ ตลอดการทดลองทั้งหมด ทั้งนี้ควบคุม SRT ให้คงที่ที่ SRT ที่เหมาะสมซึ่งสรุปจากการทดลองช่วงแรก (SRT = 12 วัน) อัตราการไหลเข้าของน้ำเสียทดลองในช่วงนี้เปลี่ยนแปลงไปเพื่อให้ได้ Organic loading หรือ HRT ต่าง ๆ ปริมาตรประสิทธิผลของการทดลองในช่วงหลังนี้ อยู่ระหว่าง 22 ลบ.ดม. ถึง 26 ลบ.ดม. ผลการทดลองวิจัยในช่วงหลังนี้ทำให้ทราบบทบาทของ Orgaric loading, HRT ที่ส่งผลต่อการกำจัดด้านต่าง ๆ เช่น สภาพน้ำเสียภายหลังจากผ่านการกำจัด ประสิทธิภาพการกำจัด COD การเกิดก๊าซ ปริมาณก๊าซมีเทน ประสิทธิภาพการเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นก๊าซมีเทน

ตารางที่ 21 แสดงคุณสมบัติต่าง ๆซึ่งสรุปผลการทดลองของแต่ละ SRT (เวลาเก็บกักน้ำ, HRT= 1.2 วัน และชีวบรรทุก, Organic Loading = 0.83 kg.BOD/m^3.-day) I = Influent, R = Reactor, E = Effluent,.

SRT วัน	ตัวอย่าง	อุณหภูมิ °C	ก๊าซที่เกิด ลบ.ดม	BOD มก./ลบ.ดม	COD มก./ลบ.ดม	SS มก./ลบ.ดม	pH	ด่างแอลคาไลน์ มก./ลบ.ดม	กรดโวแลไทล์ มก./ลบ.ดม
	I	28		1000	1400	20	7.00	1020	290
74	R	30	7.65	32	68	2470	7.30	1110	230
	E	29		30	60	2	7.35	1110	270
	I	28		1000	1400	20	6.90	950	335
32	R	30	7.50	35	72	1300	7.10	1045	270
	E	29		33	60	2	7.20	1045	300
	I	30		1000	1400	20	7.10	850	255
17	R	32	7.70	38	78	800	7.30	965	210
	E	31		35	65	2	7.30	965	240
	I	31		1000	1400	20	6.90	940	330
10	R	33	7.45	40	87	530	7.20	1050	250
	E	32		38	75	2	7.25	1050	300
	I	32		1000	1400	20	7.05	970	325
6	R	34	7.25	45	103	375	7.25	1090	240
	E	33		43	90	2	7.30	1090	280
	I	33		1000	1400	20	7.20	875	295
4	R	35	7.00	117	175	243	7.30	1000	250
	E	34		103	150	2	7.40	1000	300

ตารางที่ 22 แสดงคุณลักษณะต่าง ๆซึ่งสรุปผลการทดลองของแต่ละ SRT เพิ่มเติมประกอบตารางที่ 21 (เวลาเก็บกักน้ำ HRT = 1.2วัน และชีวบรรทุก Organic Loading = 0.83 kg.BOD/m^3.day

SRT วัน	ก๊าซที่เกิดขึ้น			กรดโวลาไทล์ มก./ลบ.ดม	ด่างแอลคาไลน์ มก./ลบ.ดม	pH.	COD		
	ทั้งหมด ลบ.ดม/วัน	มีเทน					เข้าสู่ระบบ มก./ลบ.ดม	ออกจากระบบ มก/ลบ.ดม	%กำจัด
		%	ลบ.ดม/วัน						
74	7.65	88	6.730	230	1110	7.30	1400	60	95.7
32	7.50	87	6.530	270	1045	7.10	1400	60	95.7
17	7.70	89	6.850	210	965	7.30	1400	65	95.4
10	7.45	88	6.55	250	1050	7.20	1400	75	94.6
6	7.250	86	6.24	240	1090	7.25	1400	90	93.6
4	7.00	86	6.02	250	1000	7.30	-1400	150	89.3

ตารางที่ 23 แสดงคุณลักษณะต่าง ๆของระบบกำจัดเมื่อ *Organic Loading* ต่าง ๆกัน โดย *SRT* คงที่ 12 วัน

Organic Loading $\frac{kg.BOD}{m^3.-day}$	ก๊าซที่เกิดขึ้น			กรดโวลาไทล์ มก./ลบ.ซม	ด่างแอลคาไลน์ มก./ลบ.ซม	*pH.*	*COD*		
	ทั้งหมด	มีเทน					เข้าสู่ระบบ	ออกจากระบบ	%กำจัด
	ลบ.ซม/วัน	%	ลบ.ซม/วัน				มก./ลบ.ซม	มก/ลบ.ซม	
0.25	2.16	92	1.99	280	825	7.2	1400	140	90
0.33	2.80	90	2.52	250	770	7.2	1400	180	87
0.50	4.40	91	4.00	335	950	7.1	1400	175	88
0.66	5.80	89	5.16	255	850	6.9	1400	190	86
1.00	8.65	89	7.69	290	1020	7.1	1400	210	85
1.25	10.90	88	9.59	335	940	7.0	1400	224	84
2.00	17.70	86	15.22	235	820	6.9	1400	280	80
4.00	32.00	80	25.60	250	840	7.1	1400	490	65

ตารางที่ 24 แสดงคุณลักษณะต่าง ๆ ของระบบกำจัดที่ค่า *HRT* ต่าง ๆ กัน เมื่อ *SRT = 12 days*

HRT	ก๊าซที่เกิดขึ้น			กรดโวลาไทล์	ด่างแอลคาไลน์	*pH.*	*COD*		
	ทั้งหมด	มีเทน					เข้าสู่ระบบ	ออกจากระบบ	%กำจัด
วัน	ลบ.ดม/วัน	%	ลบ.ดม/วัน	มก./ลบ.ดม	มก./ลบ.ดม		มก./ลบ.ดม	มก/ลบ.ดม	
4	*2.16*	92	*1.99*	280	825	7.2	1400	140	90
3	*2.80*	90	*2.52*	250	770	7.2	1400	180	87
2	*4.40*	91	*4.00*	335	950	7.1	1400	175	88
1.5	*5.80*	89	*5.16*	255	850	6.9	1400	190	86
1	*8.65*	89	*7.69*	290	1020	7.1	1400	210	85
0.8	*10.90*	88	*9.59*	335	940	7.0	1400	224	84
0.5	*17.70*	86	*15.22*	235	820	6.9	1400	280	80
0.25	*32.00*	80	*25.60*	250	840	7.1	1400	490	65

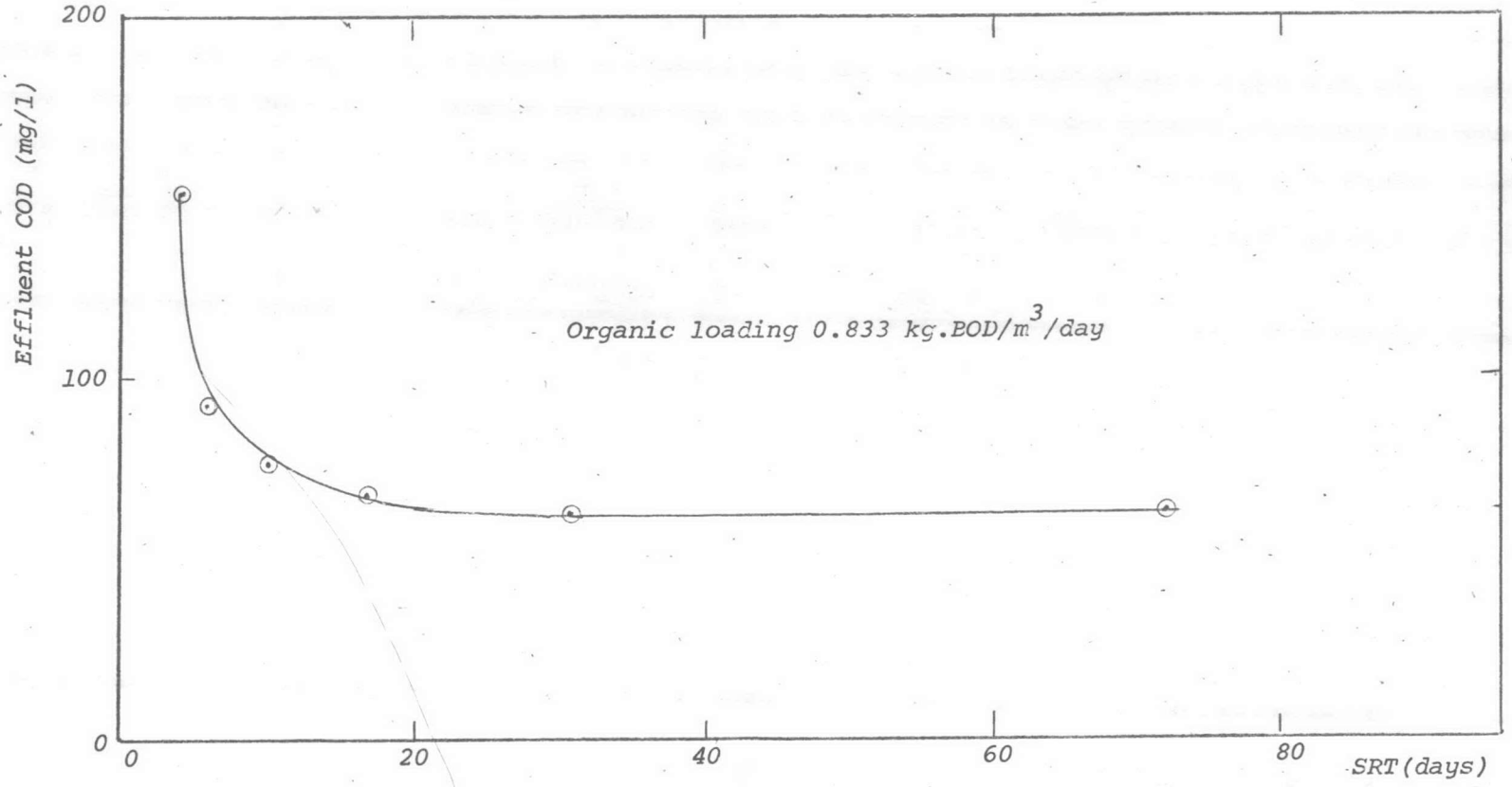
5.1 สภาพน้ำเสียภายหลังจากผ่านการกำจัด *(Effluent)*

สภาพน้ำที่ผ่านการกำจัดแสดงในรูปของ *Effluent COD* โดยสรุปจากตารางที่ *22, 23* และ *24* ได้เป็นตารางที่ *25* ซึ่งแสดงปริมาณ *Effluent COD* กับ *SRT , Organic Loading* และ *HRT* ที่มีค่าต่าง ๆ กัน สามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง *Effluent COD* กับ *SRT, Organic Loading, HRT* ดังแสดงในรูปที่ *24,25,26* ตามลำดับ จากกราฟรูปที่ *24* แสดงค่า *Effluent COD* เมื่อ *SRT 4* วัน จนถึง *72* วัน ค่า *Effluent COD* (*SRT 4* วัน) สูงถึง *150* มก./ลบ.ดม จะลดลงอย่างรวดเร็วในขณะที่ *SRT* เพิ่มขึ้นจาก *4* วันไปเป็น *10* วัน และ *SRT* ที่เพิ่มขึ้นจาก *10* วันต่อไป ค่า *Effluent COD* จะลดลงอย่างช้า ๆ จนกระทั่งเกือบจะไม่ลดลงเลยเมื่อ *SRT* เพิ่มขึ้นเลย *30* วัน. จะเห็นได้ว่าหากกำจัดน้ำเสียด้วย *SRT* ที่ต่ำมาก ๆ แล้ว *Effluent COD* จะสูงมากเพราะแบคทีเรียกำจัดความสกปรกของน้ำเสียไม่ทัน เพื่อให้ได้ผลกำจัดน้ำเสียที่ดีแล้ว *SRT* ควรจะมากกว่า *12* วัน (*4* วัน *x 3*) ในกรณีที่ใช้การหมุนเวียนวกกลับกากตะกอนแล้ว การเพิ่ม *SRT* เป็นการเพิ่มตะกอนในระบบวกเวียนกลับ จึงทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น เพราะต้องขยายขนาดของถังขจัดก๊าซ ถังตกตะกอน และเครื่องสูบตะกอน สำหรับกราฟรูปที่ *25* แสดงค่า *Effluent COD* เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของ *Organic Loading* ที่เพิ่มขึ้นจาก *0.25* จนถึง *4* กก.*BOD*/ม^3.วัน ในลักษณะที่เกือบจะเป็นกราฟเส้นตรง จนถึงช่วงที่ *Organic Loading* เพิ่มขึ้นเลย *3* กก.*BOD*/ม^3.วัน แล้วความลาดเอียงของเส้นกราฟเพิ่มความชันมากขึ้น แสดงว่าหาก *Organic Loading* เพิ่มมากกว่านี้แล้ว ผลการกำจัดจะเลวลง ดังนั้น *Organic Loading* จึงควรต่ำกว่า *3* กก.*BOD*/ม^3.วัน และการกำจัดด้วย *Organic Loading* ต่ำ ๆ ต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย เนื่องจากการเพิ่มขนาดของถังปฏิกรณ์ ในการทดลองนี้ใช้น้ำเสียที่มีความเข้มข้นเท่ากันตลอดการทดลอง ดังนั้นการแปรค่า *Organic Loading* ทำได้โดยการแปรค่า *HRT* จากกราฟรูปที่ *26* จะเห็นว่า *HRT* เริ่มต้น(*0.25* วัน) มี *Effluent COD* สูง (*490* มก./ลบ.ดม) จะลดค่าลงเร็วมากในระยะแรก ๆ ของ *HRT* ที่เพิ่มขึ้น จนเมื่อ *HRT* เพิ่มขึ้นเลย *1* วัน ค่า *Effluent COD* เกือบจะไม่ลดลงตามการเพิ่มของ *HRT* ดังนั้น *HRT* ที่น้อยที่สุด (ประหยัด) ที่ได้ผลการกำจัดดีพอสมควรคือ *1* วัน

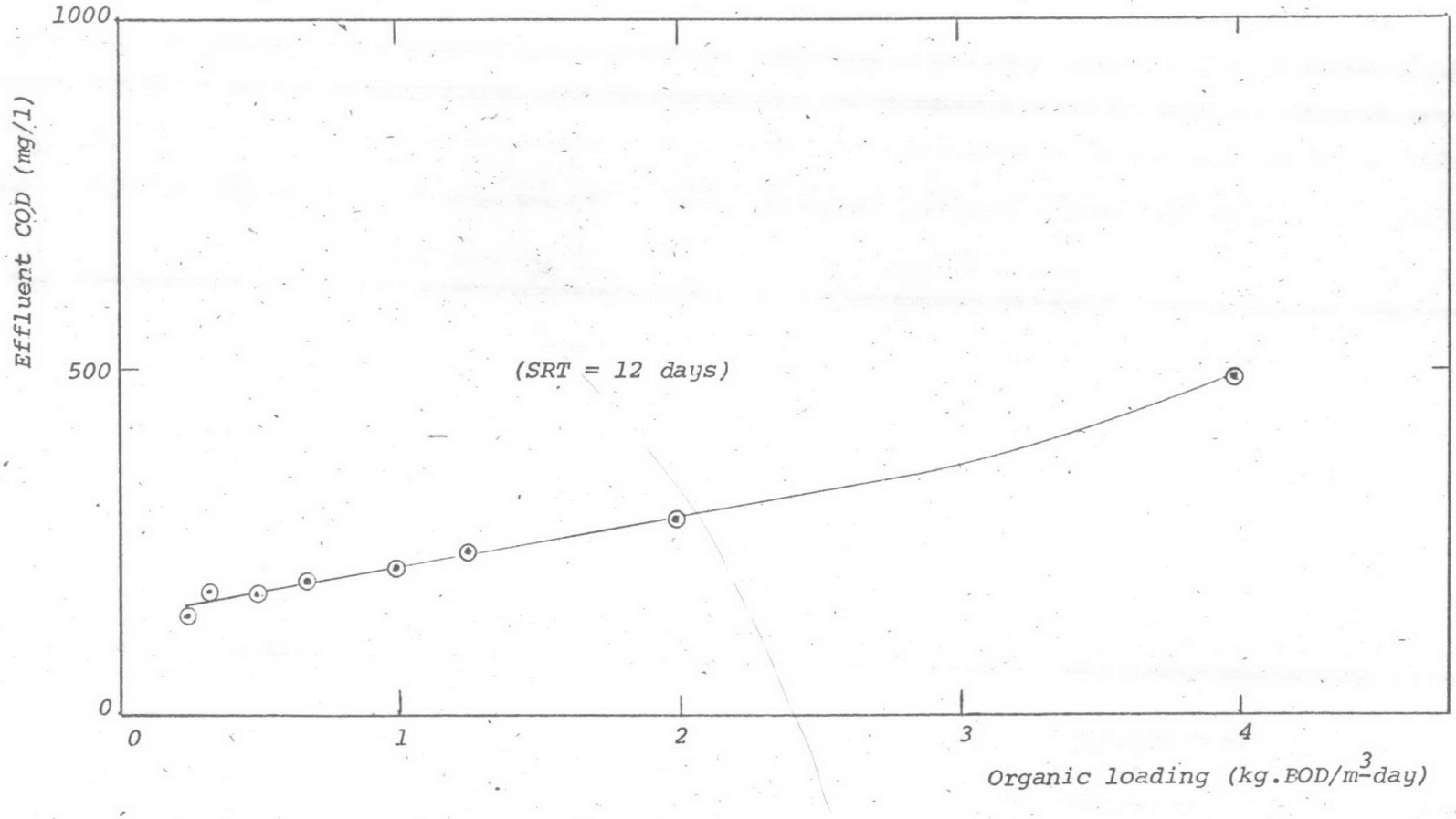
ตารางที่ 25 แสดงปริมาณ *Effluent COD* ของการกำจัดในแต่ละ *SRT, Organic Loading, HRT*.

(สรุปจากตารางที่ 22, 23, 24)

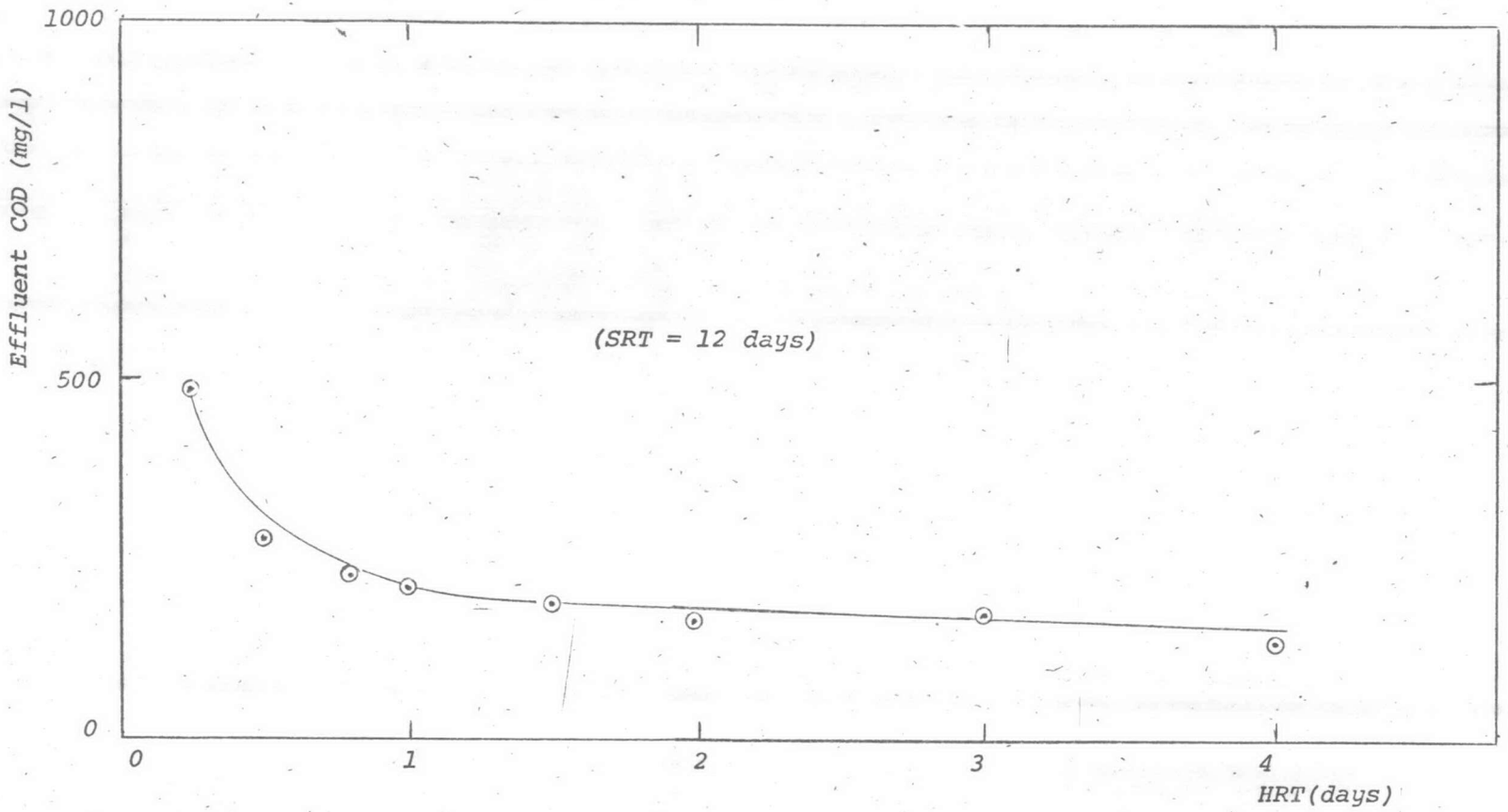
0.833 kg.BOD/M^3.day Organic Loading, or 1.2 days HRT		SRT = 12 days		SRT = 12 days	
SRT	Eff. COD	Org. load	Eff. COD	HRT	Eff. COD
74	60	0.25	140	4.0	140
32	60	0.33	180	3.0	180
17	65	0.50	175	2.0	175
10	75	0.66	190	1.5	190
6	90	1.00	210	1.0	210
4	150	1.25	224	0.8	224
-	-	2.00	280	0.5	280
-	-	4.00	490	0.25	490



รูปที่ 24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลการกำจัดน้ำเสีย (ในรูปของ *Effluent COD*) และ *SRT* ต่าง ๆ



รูปที่ 25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลการกำจัดน้ำเสีย (ในรูปของ *Effluent COD*) และ *Organic loading* ต่าง ๆ



รูปที่ 26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลการกำจัดน้ำเสีย (ในรูปของ *Effluent COD*) และ *HRT* ต่าง ๆ

จากผลการทดลองนี้ วิธีการแอนแอโรบิกคอนแทคท์ สามารถกำจัดน้ำเสียได้คุณภาพดี คือมี *Effluent COD* ต่ำ เมื่อ *SRT* สูง, *Organic Loading* ต่ำ, *HRT* สูง และเพื่อให้การกำจัดได้ผลดีและประหยัดแล้ว *SRT* ที่เหมาะสมคือ *12* วัน ส่วน *Organic Loading* ที่เหมาะสมควรเป็น *0.8 - 3* กก.*BOD*/ม^3.วัน และ*HRT* ที่เหมาะสมคือ *1* วัน

5.2 เปอร์เซนต์การกำจัด *COD (% COD removal)*

% COD removal ของแต่ละ *SRT*, *Organic loading* และ *HRT* ซึ่งสรุปจากตารางที่ *22, 23, 24* ได้แสดงไว้ในตารางที่ *26* *% COD removal* จะมีค่าสูงเมื่อ *SRT* สูง, *Organic loading* ต่ำ และ *HRT* สูง โดยเฉพาะเมื่อใช้วิธีกักตะกอนด้วยผ้ากรอง (*SRT* เป็นตัวแปร) ค่า *% COD removal* สูงกว่าเมื่อใช้การหมุนเวียนวกกลับกากตะกอน (*Organic loading* หรือ *HRT* เป็นตัวแปร) ความสัมพันธ์ของ *% COD removal* ต่อ *SRT*, *Organic loading* และ *HRT* ได้แสดงไว้ในรูปที่ *27, 28* และ *29* ตามลำดับ

5.2.1 ผลจาก *SRT* ที่มีต่อ *% COD removal*

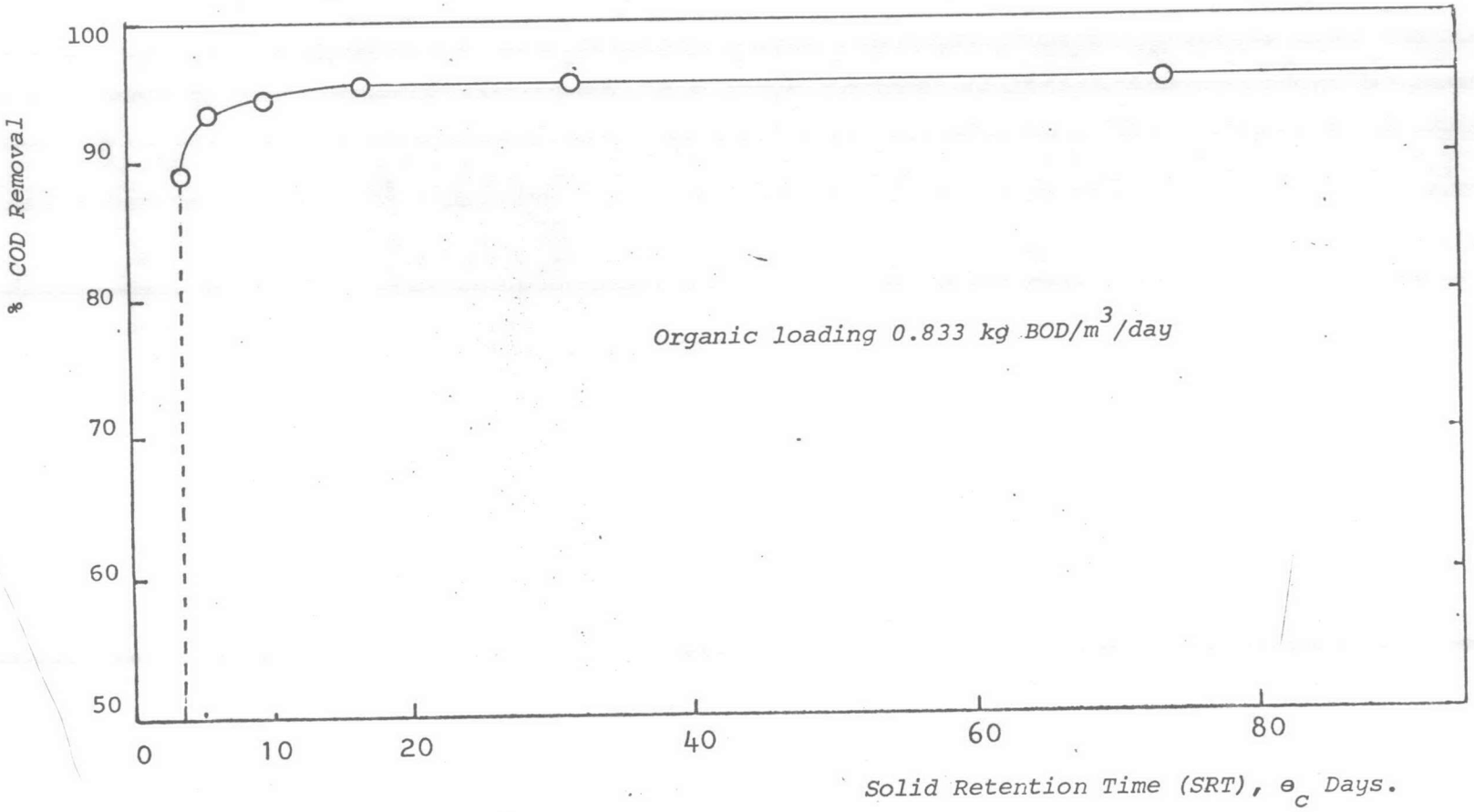
พิจารณาตารางที่ *26* และรูปที่ *27* ซึ่งเป็นตารางและกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง *SRT* กับ *% COD removal* โดย *Organic loading* คงที่ (*0.83* กก.*BOD*/ม^3.วัน) และ *HRT* คงที่ (*1.2* วัน) พบว่า *% COD removal* จะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่ม *SRT*. ระยะที่ *SRT* เพิ่มจาก *4* วันถึง *20* วัน เป็นระยะที่ *% COD removal* เพิ่มในอัตรามากกว่าระยะที่ *SRT* เพิ่มจาก *20* วันขึ้นไป กล่าวคือเมื่อ *SRT* มากกว่า *20* วันแล้ว การเพิ่ม *SRT* มีผลน้อยมากต่อการเพิ่ม *% COD removal* ต่างกับเมื่อ *SRT* ลดลงใกล้ *4* วัน และน้อยกว่า *4* วัน *% COD removal* ลดลงอย่างเร็วมาก. ในการทดลองนี้แสดงว่า *SRT min* มีค่าน้อยกว่า *4* วัน เพราะเมื่อ *SRT*= *4* วัน ถังปฏิกรณ์ยังคงทำงาน ดังนั้นในการนำไปใช้งานแล้ว *SRT* ที่ใช้ในการออกแบบ ไม่ควรจะน้อยกว่า *3* เท่าของ *SRT min* เช่นเดียวกัน การที่ *SRT* มาก ๆ ก็ไม่ทำให้การกำจัดเพิ่มขึ้นมากนัก

SRT ที่เหมาะสมในการออกแบบและดำเนินงานสำหรับอุณหภูมิทั่วไป ของกทม.ควรใช้ *12* วัน

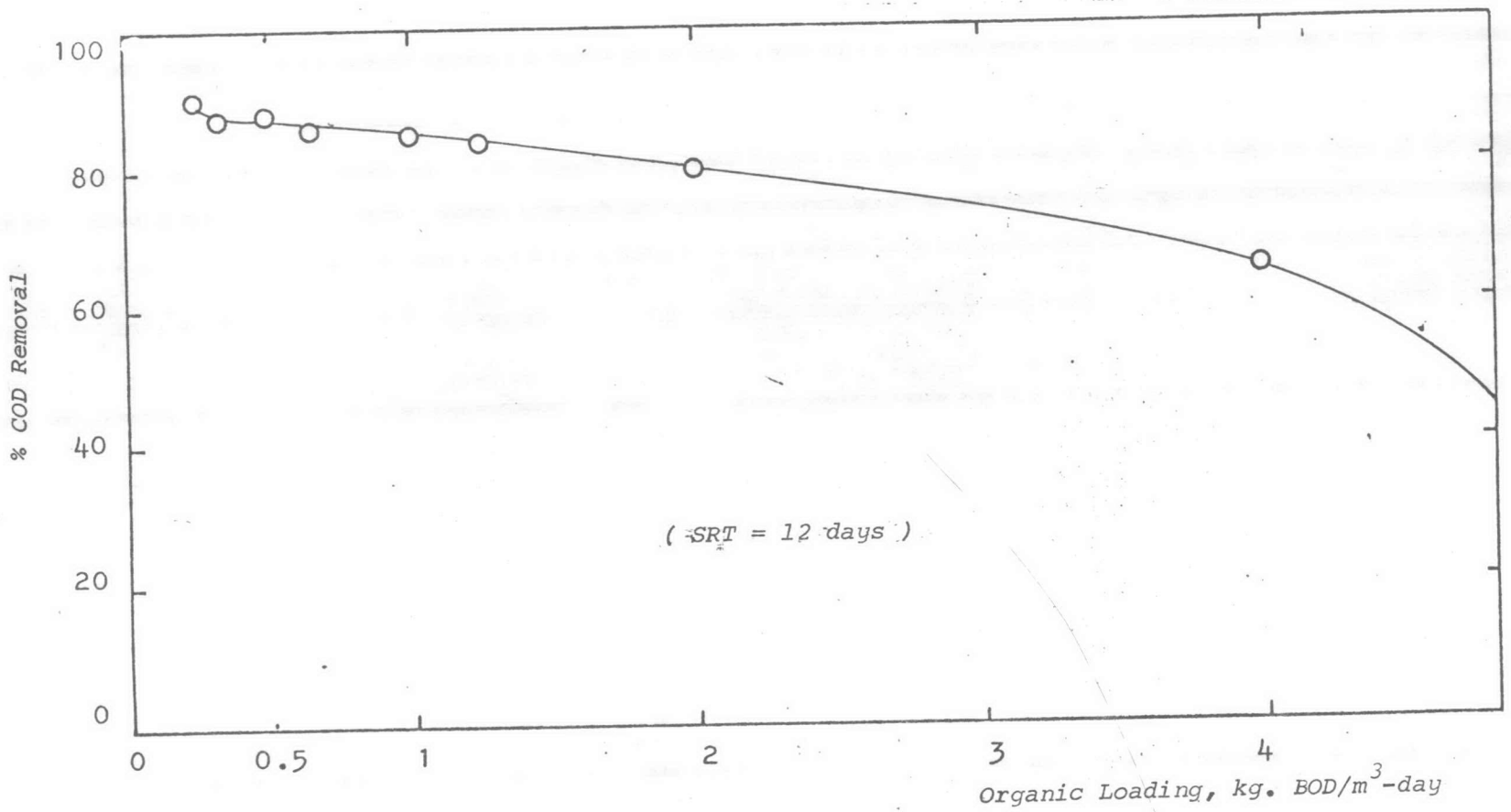
ตารางที่ 26 แสดงค่า % COD removal ของการกำจัดในแต่ละ SRT, Organic Loading, HRT.

(สรุปจากตารางที่ 22, 23, 24)

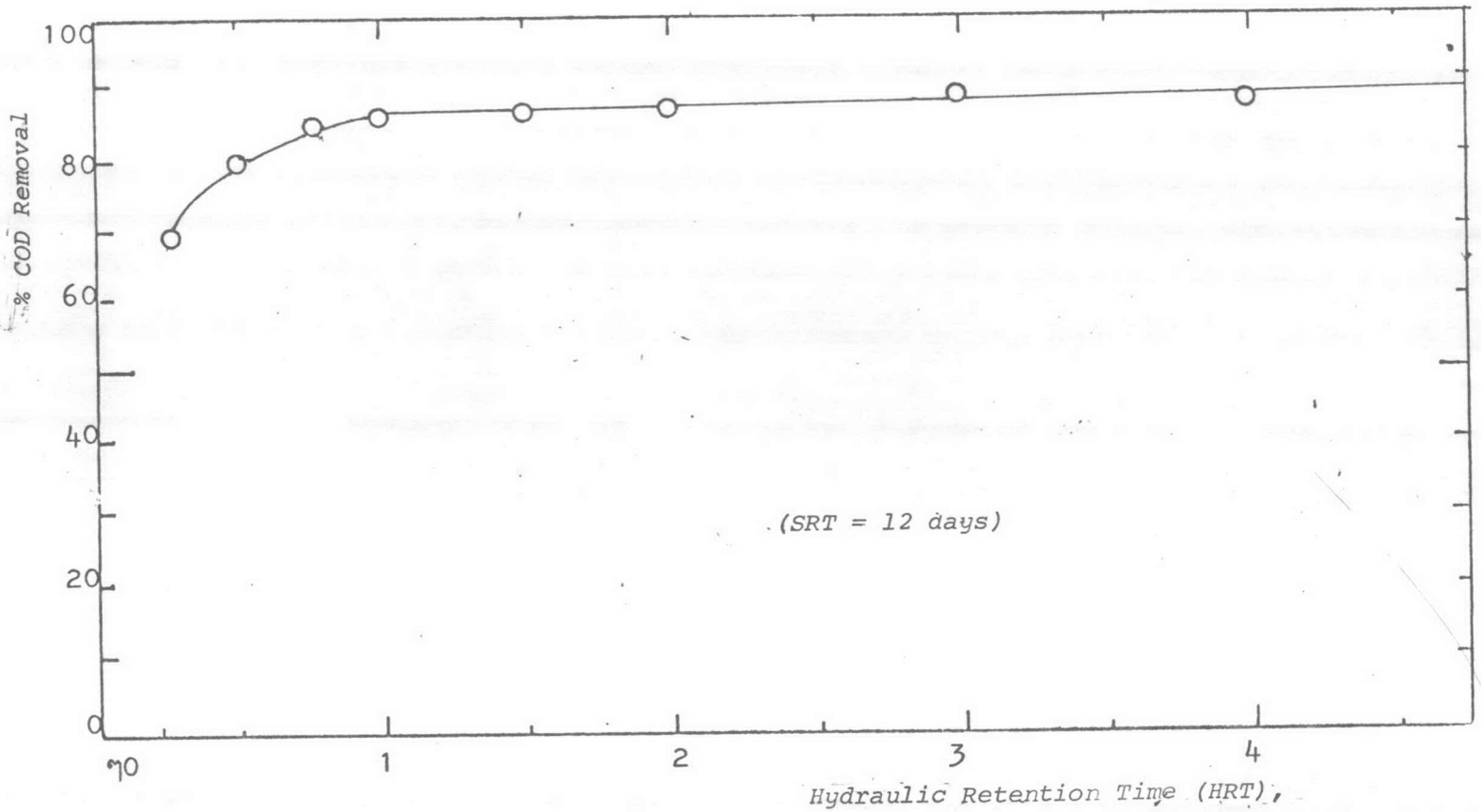
0.833 kg.BOD/M^3.day Organic loading, or 1.2 days HRT		SRT = 12 days		SRT = 12 days	
SRT	% COD removal	Org. load	% COD removal	HRT	% COD removal
74	95.7	0.25	90	4.0	90
32	95.7	0.33	87	3.0	87
17	95.4	0.50	88	2.0	88
10	94.6	0.66	86	1.5	86
6	93.6	1.00	85	1.0	85
4	89.3	1.25	84	0.8	84
		2.00	80	0.5	80
		4.00	65	0.25	65



รูปที่ 27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % COD Removal V.S. Solid Retention Time (SRT), θ_c



รูปที่ 28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % COD Removal vs Organic Loading.



รูปที่ 29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % COD Removal vs Hydraulic Retention Time (HRT), θ

5.2.2 ผลจาก *Organic loading* ที่มีต่อ % *COD removal*

ในการทดลองวิจัยครั้งนี้เปลี่ยนแปลง *Organic loading* โดยการเปลี่ยนระยะเวลาการเก็บกักน้ำทิ้ง *(HRT)* ผลการทดลองปรากฏว่าที่ *Organic loading* ต่ำ การกำจัดทำได้ดีกว่าที่ *Organic loading* สูง คือเมื่อเพิ่ม *Organic loading* จาก *0.25* กก./ม^3./วัน จนถึง *4* กก.*BOD*/ม^3./วัน ประสิทธิภาพกำจัด *COD* ค่อย ๆ ลดลงจน *Organic loading* ระยะ *3-4* กก.*BOD*/ม^3./วัน จึงลดลงเร็วมาก พิจารณาจากรูปกราฟที่ *28* เห็นได้ว่าในกรณีที่ *Organic loading* น้อยมาก ๆ ประสิทธิภาพการกำจัด *COD* ดีขึ้นไม่มาก และในกรณีที่ *Organic loading* สูงกว่า *4* กก.*BOD*/ม^3./วัน ประสิทธิภาพการกำจัด *COD* ลดลงอย่างมาก

Organic loading ที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง *0.8 - 3* กก.*BOD*/ม^3./วัน

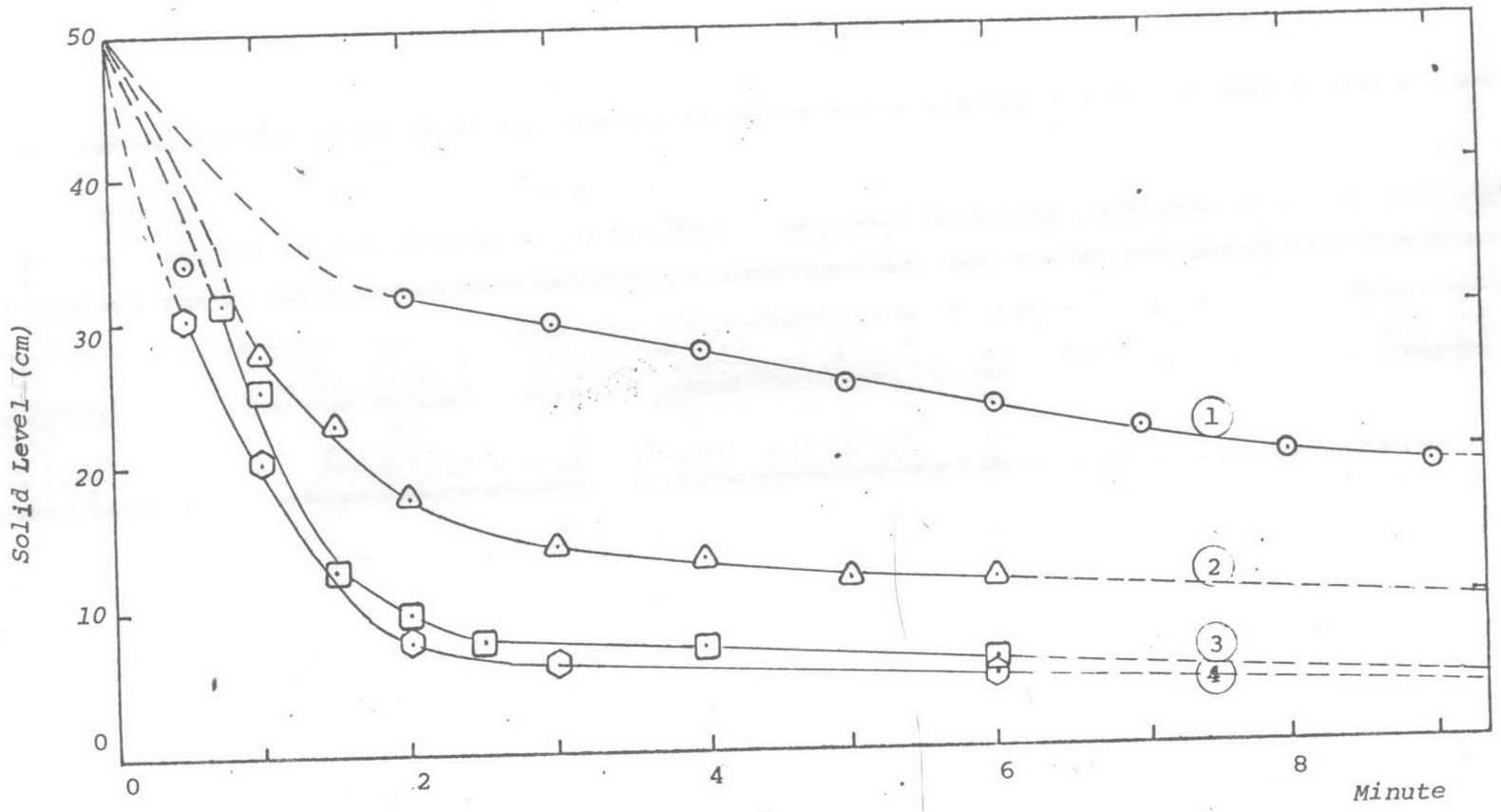
5.2.3 ผลจากเวลาเก็บกักน้ำ *HRT* ที่มีต่อ % *COD removal*

ในการทดลองวิจัยครั้งนี้การเปลี่ยนแปลง *HRT* มีผลให้ *Organic loading* เปลี่ยนตาม ทั้งนี้เนื่องจากต้องการให้น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ มีความเข้มข้นเท่ากันตลอดการทดลอง ผลของ *HRT* และผลของ *Organic loading* จึงคล้ายกัน อาจสรุปได้ว่า *HRT* มีผลต่อ *%COD removal* โดยกราฟรูปที่ *29* *HRT* เหมาะสมควรมากกว่า *0.5* วัน ถึง *2* วัน ถ้าน้อยกว่า *0.5* วันแล้ว % *COD removal* จะลดลงมาก และถ้ามากกว่า *2* วันแล้ว % *COD removal* จะไม่เพิ่มมากไม่ประหยัด

HRT ที่เหมาะสมมากที่สุดคือ *1* วัน

5.3 การตกตะกอนของตะกอน *(Sludge settling)*

ตะกอนของแอนแอโรบิกคอนแทคท์ สามารถตกตะกอนได้ในเวลาสั้นลงหากความเข้มข้นของตะกอนต่ำลง แต่ถ้าความเข้มข้นของตะกอนต่ำมาก ๆ การตกตะกอนกลับไม่ดี คือแม้ว่าจะตกตะกอนแล้ว ยังมีความขุ่นกระจายอยู่ในน้ำใส กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ชั้นน้ำขุ่นกับชั้นน้ำใสไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน เท่ากับมีความเข้มข้นของตะกอนสูง ๆ และเมื่อความเข้มข้นต่ำมาก การลดความเข้มข้นต่ำลงมีผลให้การตกตะกอนเพิ่มขึ้นได้มาก เช่นเดียวกับในขณะความเข้มข้นของตะกอนสูงมาก การเพิ่มความเข้มข้นของตะกอนไม่ทำให้การตกตะกอนช้าลงไปมาก (ดูจากกราฟรูปที่ *30*)



รูปที่ 30 แสดงการตกของตะกอนที่ความเข้มข้นตะกอนต่างๆ

① 2,400 mg/l
② 1,200 mg/l
③ 600 mg/l
④ 300 mg/l

1 2,400 mg/l
2 1.200 mg/l
3 600 mg/l
4 300 mg/l

สภาพการตกตะกอนของตะกอน *Sludge* นี้แสดงว่า ตะกอนสามารถตกตะกอนได้ดีเมื่อความเข้มข้นของตะกอนต่ำ ดังนั้นเมื่อระบบกำจัดทำการกำจัดน้ำเสียด้วยวิธีแอนแอโรบิกคอนแทคท์ที่ *SRT* ขึ้นแล้ว ก็จะต้องมีถังตกตะกอนที่มีขนาดพื้นที่ผิวบนกว้างขึ้นตาม เพราะที่ *SRT* สูง ๆ ความเข้มข้นของตะกอนก็จะสูงตาม ในการที่พื้นที่ผิวบนเพิ่มขึ้นก็จะสิ้นเปลืองค่าก่อสร้างมากขึ้น. ค่าใช้จ่ายที่มากขึ้นนี้ หากนำมาเปรียบเทียบกับประโยชน์ที่ได้จากการเพิ่ม *SRT* ให้มาก ๆ แล้ว ผลกำจัดจะมากขึ้นเพียงใด. ดังที่พิจารณาประกอบกับผลของ *SRT* ที่ได้จากการทดลองแล้ว นับว่าค่า *SRT* ควรจะน้อยที่สุด โดยไม่ทำความเสียหายแก่ระบบกำจัด ในทางปฏิบัติจึงกล่าวกันว่า *SRT* ที่ใช้ในการปฏิบัติการควรจะเท่ากับ *3* เท่าของ SRT_{min} *(= 12* วัน*)*

5.4 *Kinetic Parameter*

การคำนวณหาค่า *Kinetic Parameter* ต่าง ๆ ของการวิจัยครั้งนี้ ใช้ข้อมูลที่สรุปในตารางที่ *21* เป็นข้อมูลในการคำนวณ. ค่า *COD* เป็นค่า *COD* ของตัวอย่างที่ผ่านการกรอง จึงเป็นค่า *soluble COD*.

5.4.1 *Non-Biologically degradable COD*

ก่อนจะคำนวณหาค่า *Kinetic Parameter* จำเป็นต้องหาค่า *non-biologically degradable COD* (C_i) ที่อยู่ในน้ำเสีย ซึ่งทำได้โดยการเขียนกราฟระหว่างค่า *unit rate of substrate removal (U)* กับค่า *Soluble COD* ในถังปฏิกรณ์ *(C)*. ในกราฟนี้ค่า $U = O$ ย่อมหมายถึง *biodegradable COD = 0* ดังนั้นเมื่อ $U = O$ หรือยืดกราฟออกไปตัดแกน *(C)* ที่ $U = O$ ค่าในแกน *(C)* คือค่า C_i *(non-biologically COD)* ค่า U หาได้โดยใช้สมการ

$$U = \frac{F(S_o - S)}{X \cdot V} = \frac{C_o - C}{X \cdot \tau}$$

โดย U = *unit rate* = มก T_bOD/วัน.มถ.เซลล์

τ = *mean residence time* = V/F = *Volume/Flow rate*

S_o = *influent* T_bOD = $C_o - C_i$ = *influent COD - inert COD*

S = *reactor* T_bOD = $C - C_i$ = *reactor soluble COD-inert COD*

X = *cell conc.* $= M - X_i\left(\frac{\theta_c}{\tau}\right)$ = มก./ลบ.ดม.

M = *mix-liqour suspended solid conc.* = มก./ลบ.ดม.

X_i = *influent suspended solid* = มก./ลบ.ดม.

θ_c = *solid retention time (SRT)* = วัน

ตารางที่ *25* เป็นตารางที่นำเอาข้อมูลการทดลอง (ตารางที่ *21*) มาคำนวณ จากนี้เอาค่า U และค่า C ของตารางที่ *25* มาเขียนกราฟ (ดังแสดงในรูปที่ *27*). ผลที่ได้จากรูปที่ *27* จะเห็นว่าเส้นกราฟตัดแกน C ที่ $C = 60$ มก./ลบ.ดม. ค่า $C = 60$ มก./ลบ.ดม. คือค่า C_i

5.4.2 <u>การหาค่า *True Growth Yield & Specific Decay Rate*</u>

คำนวณหาค่า $\frac{1}{\theta_c}$ จากค่า θ_c ของตารางที่ *25* และนำค่า U ที่หาได้จากตารางที่*25* มาสรุปในตารางที่ *26* และเขียนกราฟระหว่างค่า U กับ $\frac{1}{\theta_c}$ ดังแสดงในรูปที่ *28* ซึ่งเป็นกราฟเส้นตรงที่เกิดจากสมการ

$$U = \frac{C_o - C}{X \cdot \tau} = \frac{1}{Y_g} \cdot \frac{1}{\theta_c} + \frac{b}{Y_g}$$

โดย $\frac{b}{Y_g}$ คือค่าของ U เมื่อ $\frac{1}{\theta_c} = 0$ และ $\frac{1}{Y_g}$ คือค่า *slope* ทั้งนี้หาค่าได้จากการเขียนกราฟได้ค่า *True Growth Yield*, $Y_g = 0.05$ มก.เซลล์/มก. T_b*OD* ที่ขจัด และค่าของ*Specific Decay Rate*, $b = 0.025$ วัน$^{-1}$ ค่าที่ได้นี้ใกล้เคียงกับค่าที่ *LAWRENCE (1971)*, แนะนำให้ใช้ค่า $Y_g = 0.044$ มก./เซลล์/มก. *COD* ที่ถูกขจัด

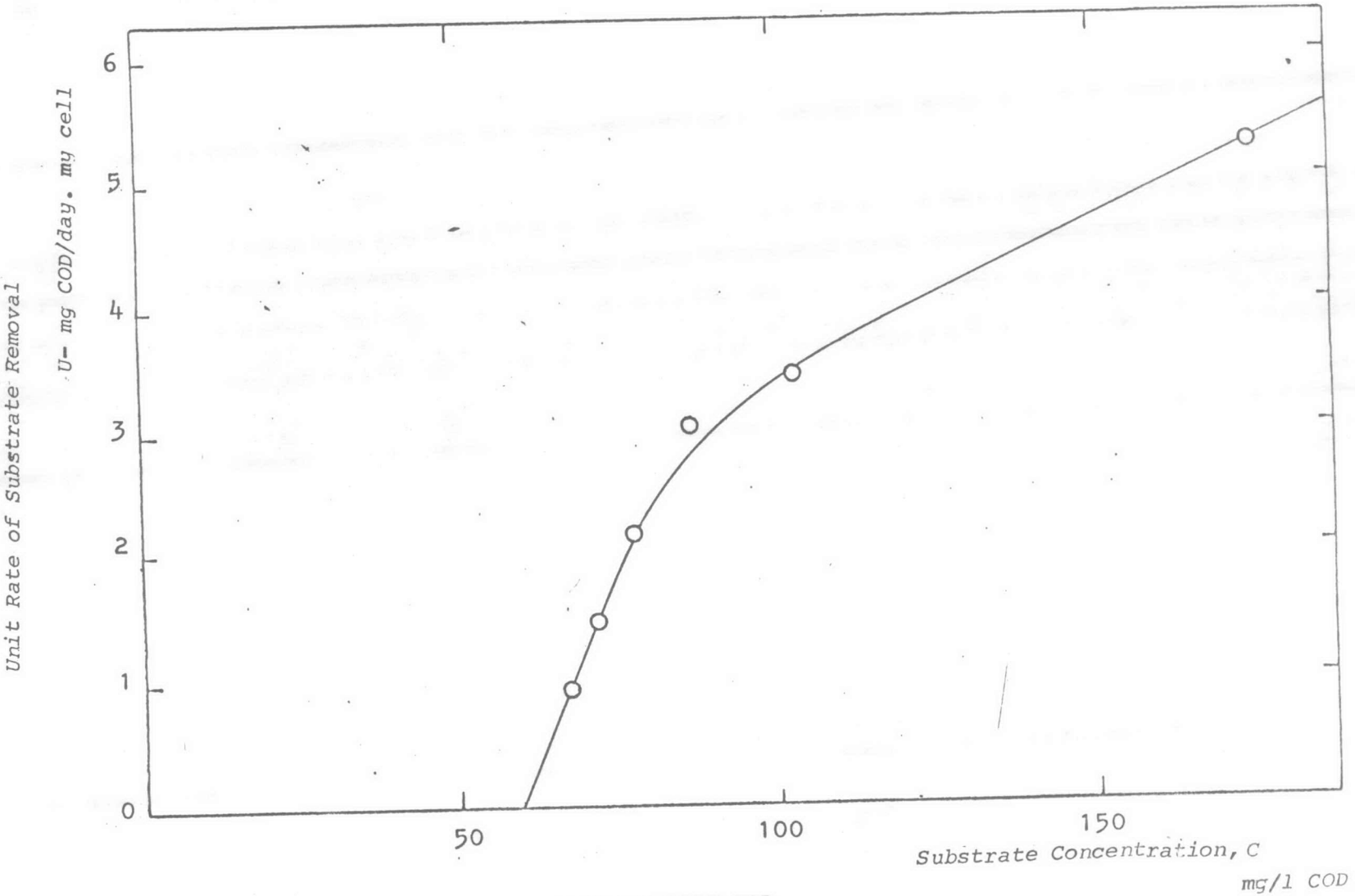
5.4.3 <u>การหาค่า *Maximum Specific Growth Rate* และค่า *Saturation Constant*</u>

$$\frac{S}{\frac{1}{\theta_c} + b} = \frac{S}{\mu_m} + \frac{K_s}{\mu_m}$$

ข้อมูลที่ใช้ อาศัยค่า b จากหัวข้อ *5.4.2 (0.025)* และค่า C_i จากหัวข้อ *5.4.1 (60)* มาใช้ในการคำนวณประกอบกับข้อมูลอื่น ๆ ไว้ในตารางที่ *27* ได้ค่า *Maximum Specific*

ตารางที่ 27แสดงผลคำนวณข้อมูลเพื่อหาค่า *non-biologically degradable COD* , (C_i)

คุณสมบัติ	ระยะเวลาเก็บกักตะกอน (*Solid Retention Time, S.R.T.*) = θ_c วัน					
	74	*32*	*17*	*10*	*6*	*4*
C_o	1400	1400	1400	1400	1400	1400
C	68	72	78	87	103	175
$C_o - C$	1332	1328	1322	1313	1297	1225
M	2470	1300	800	530	375	245
X_i	20	20	20	20	20	20
$X_i(\frac{\theta_c}{\tau})$	1235	533	284	166	100	66
$X = \{M - X_i(\frac{\theta_c}{\tau})\}$	1235	768	516	364	275	179
$\tau.X$	1480	922	620	437	332	215
$U = \frac{C_o - C}{\tau.X}$	0.90	1.44	2.13	3.00	3.90	5.70



รูปที่ 31 แสดง DETERMINATION OF NON-BIODEGRADABLE COD

Growth Rate, $\mu_m = 0.5\ day^{-1}$ Saturation Constant, $K_s = 87$ mg/l

5.4.4 ค่า Mean Reaction Rate Constant

$$S = \frac{1}{K_L} \cdot \left[\frac{\frac{1}{\theta_c} + b}{Y_g} \right]$$ นำมาเขียนกราฟระหว่าง S กับ $\frac{\frac{1}{\theta_c} + b}{Y_g}$ โดยคำนวณอยู่ในตารางที่ 27 โดยใช้ค่า Y_g จากหัวข้อ 5.4.2 และค่า S จากหัวข้อ 5.4.3 ได้ตารางที่ 28 และกราฟรูปที่ 30 ผลออกมาได้ค่า Reaction Rate Constant, $K_L = 0.093$ ลบ.ดม./มก.-วัน

5.4.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Biological solid กับ SRT

คำนวณหาค่า Biological solid, มก.เซลล์/มก. COD ที่ถูกกำจัดออกมาก เพื่อเขียนกราฟดูความสัมพันธ์ จากตารางที่ 29 และรูปที่ 31 จะเห็นว่าในระยะแรกที่ SRT เพิ่มมากกว่า 0 ค่า Biological Solid ต่อ COD ที่ถูกกำจัดจะเพิ่มมากขึ้น จนในระยะที่ SRT มากขึ้นมากแล้ว Biological Solid ต่อ COD ที่ถูกกำจัดจะไม่เพิ่มมากเหมือนระยะแรกที่กล่าวมาแล้ว ส่วนของกราฟที่โค้งมากที่สุด คือระยะที่ SRT ประมาณ 12 วัน.

5.5 ก๊าซ

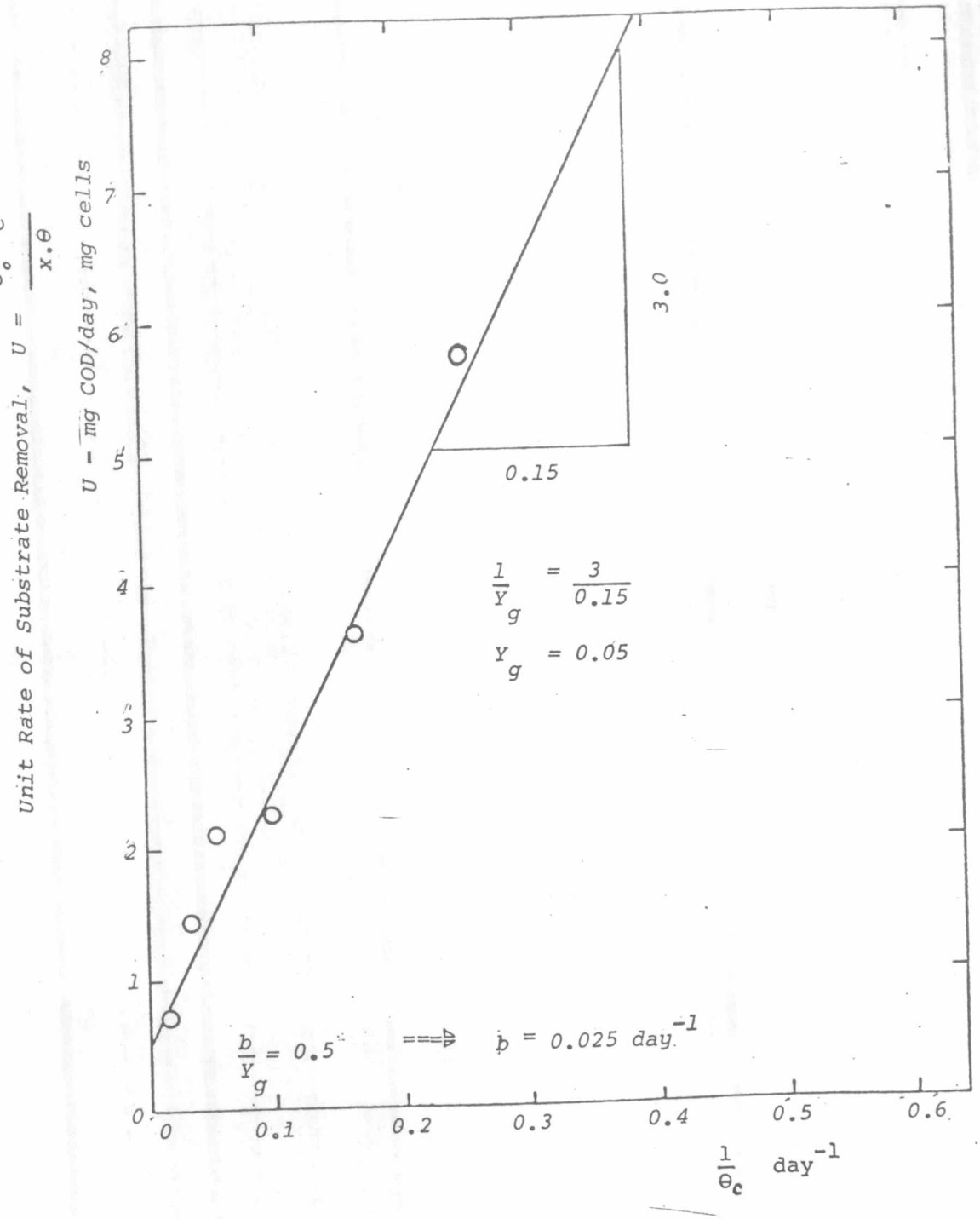
ก๊าซที่เกิดประกอบด้วยก๊าซหลายชนิด เช่น มีเทน คาร์บอนไดอ๊อกไซด์ ไนโตรเจนและอื่น ๆ. ปริมาณก๊าซรวมที่ได้คือค่า C ในตารางที่ 22 และ 23. ปริมาตรก๊าซที่เกิดมากน้อยขึ้นอยู่กับ COD ที่ถูกกำจัดมากน้อยเพียงใด. กราฟรูปที่ 36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซที่เกิดและ Organic Loading ให้เห็นว่าก๊าซที่เกิดจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของ Organic Loading และปริมาณก๊าซมีเทนเพิ่มหรือลดตาม Organic Loading ที่เพิ่มหรือลด ทั้งนี้เพราะ%มีเทนไม่แตกต่างกันมากนักในแต่ละ Organic Loading ดังแสดงในรูปที่ 37 ซึ่งแสดงถึง%ก๊าซมีเทน ลดลงเล็กน้อยเมื่อ Organic Loading มากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากประสิทธิภาพการทำงานของระบบลดลงเมื่อ Organic Loading เพิ่มขึ้น. ตามทฤษฎีแล้วอินทรีย์สารจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน แต่ทางปฏิบัติ

ตารางที่ 28 แสดง ผลคำนวณข้อมูล เพื่อเขียนกราฟหาค่า *True Growth Yield* และค่าของ *Specific Growth Rate.*

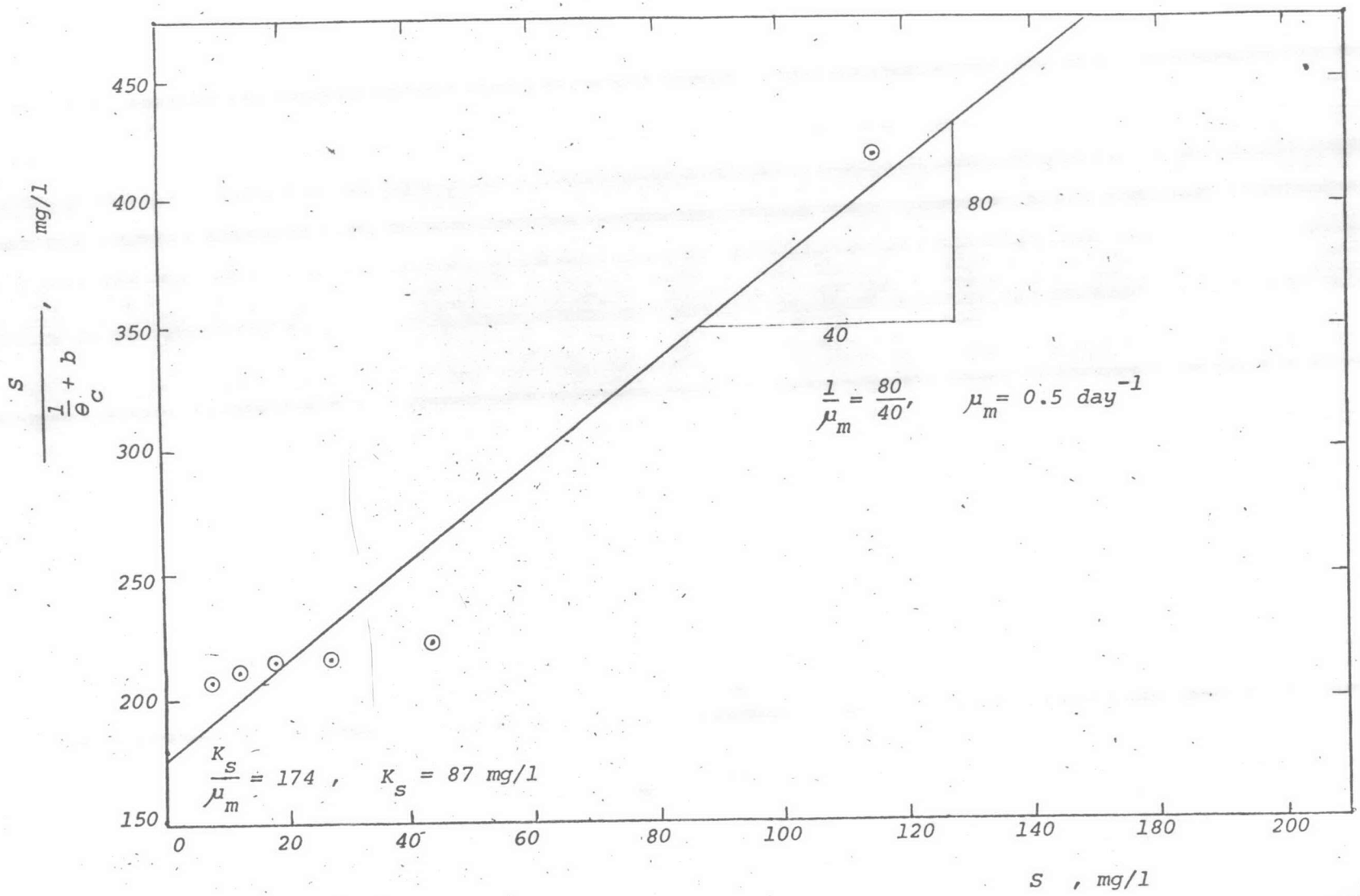
คุณสมบัติ	ระยะเวลาเก็บกักตะกอน (*Solid Retention Time, S.R.T.*) = θ_c วัน					
	74	32	17	10	6	4
$U = \frac{C_o - C}{\tau . x}$	0.90	1.44	2.13	3.00	3.90	5.70
$\frac{1}{\theta_c}$	0.0135	0.0313	0.0588	0.1000	0.1667	0.2500

ตารางที่ 29 แสดงผลคำนวณข้อมูลเพื่อเขียนกราฟหาค่า *Maximum Specific Growth Rate* และ *Saturation Constant.*

คุณสมบัติ	θ_c					
	74	32	17	10	6	4
C	68	72	78	87	103	175
$S(=C-C_i)$	8	12	18	27	43	115
$\frac{1}{\theta_c}$	0.0135	0.0313	0.0588	0.100	0.1667	0.25
$\frac{1}{\theta_c} + b$	0.0385	0.0563	0.0838	0.1250	0.1917	0.2750
$\frac{S}{\frac{1}{\theta_c} + b}$	207	213	215	216	224	418



รูปที่ 32 แสดง Determination of True Growth Yield & Specific Decay Rate



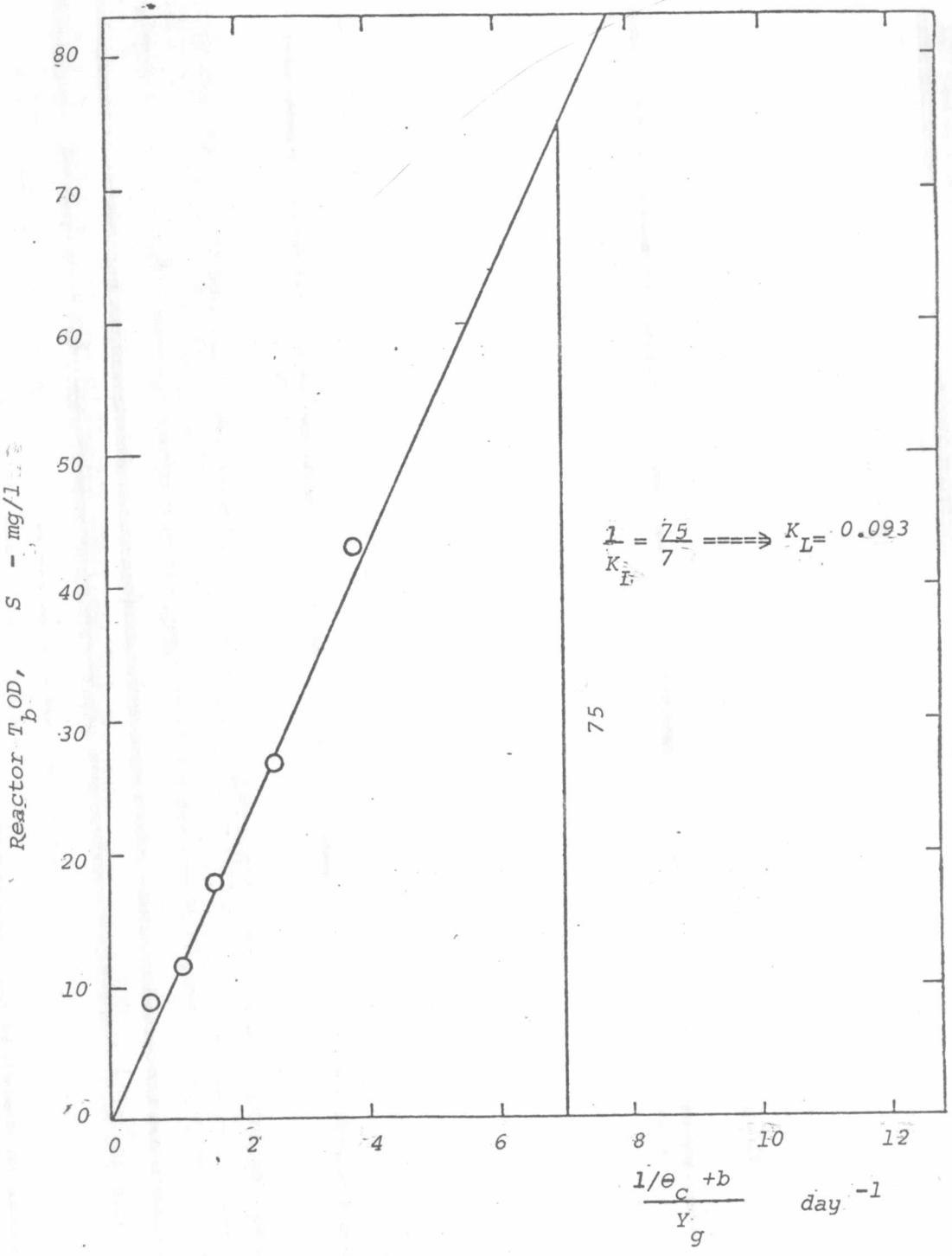
รูปที่ 33 แสดง Determination of Maximum Specific Growth Rate and Saturation Constant.

ตารางที่ 30 แสดงผลคำนวณข้อมูลเพื่อเขียนกราฟหาค่า *Mean Reaction Rate Constant*

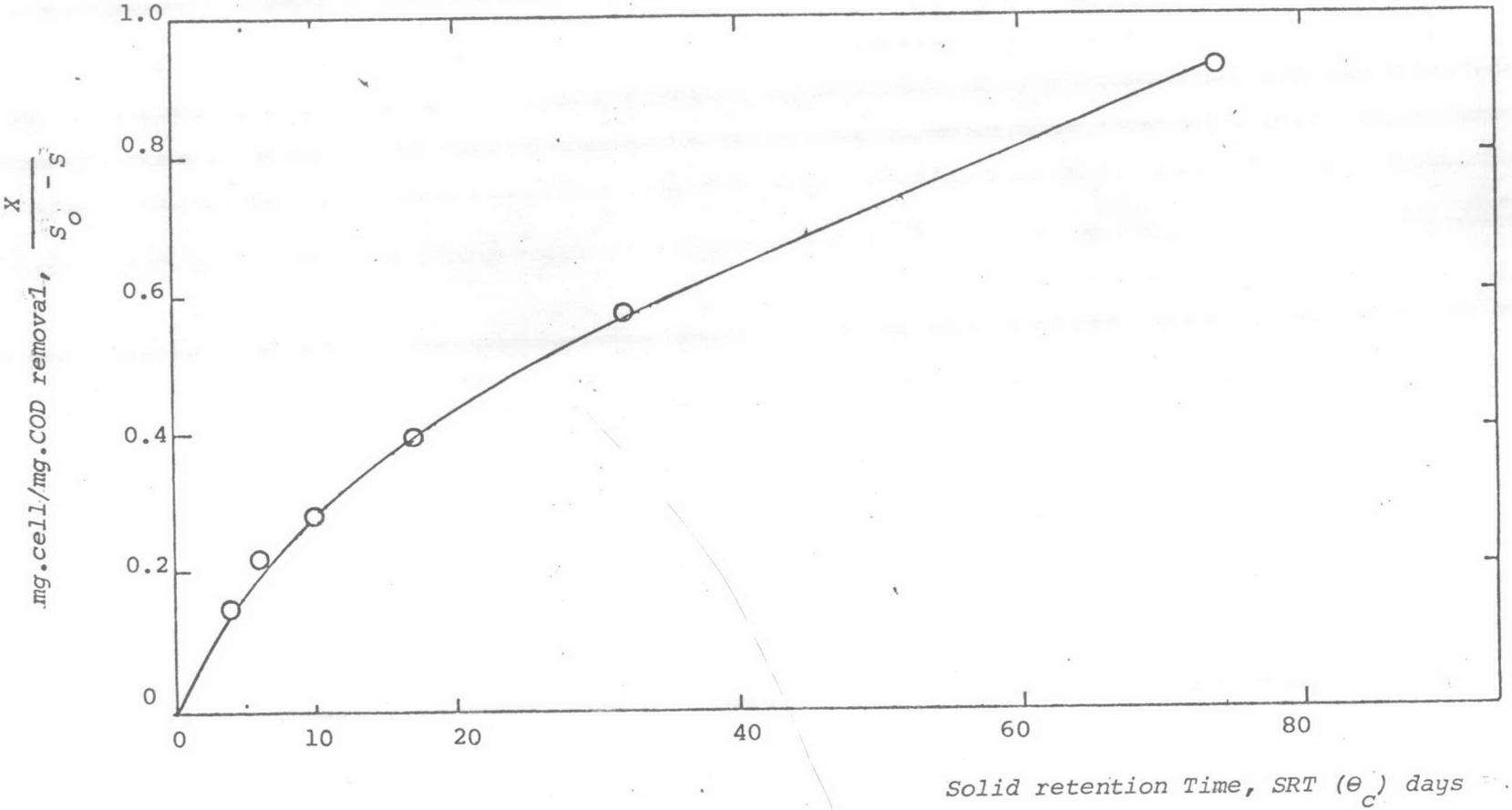
คุณสมบัติ $Y_g = 0.0515$	θ_c					
	74	32	17	10	6	4
$S(=C-C_i)$	8	12	18	27	43	115
$\frac{1}{\theta_c} + b$	0.0385	0.0563	0.0838	0.1250	0.1917	0.2750
$\frac{\frac{1}{\theta_c} + b}{Y_g}$	0.77	1.126	1.676	2.500	3.834	5.500

ตารางที่ 31 แสดงผลคำนวณข้อมูลเพื่อเขียนกราฟหาค่า *Biological Solid vs* θ_c

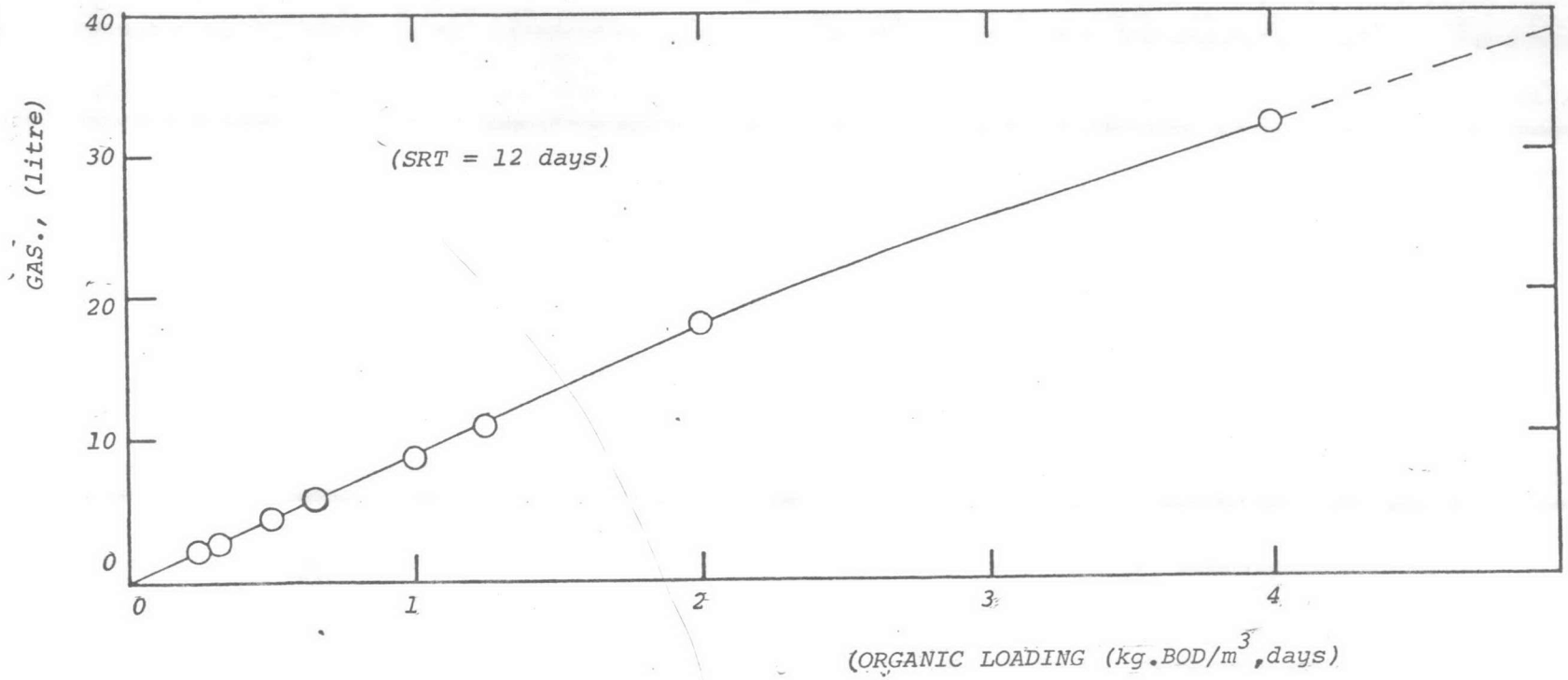
θ_c (=SRT)	θ_c					
	74	32	17	10	6	4
x(จากตาราง25)	1235	768	516	364	275	179
C_o-C(จากตาราง25)	1332	1328	1322	1313	1297	1225
$\frac{x}{C_o - C}$	0.9270	0.5783	0.3900	0.2770	0.2120	0.1460



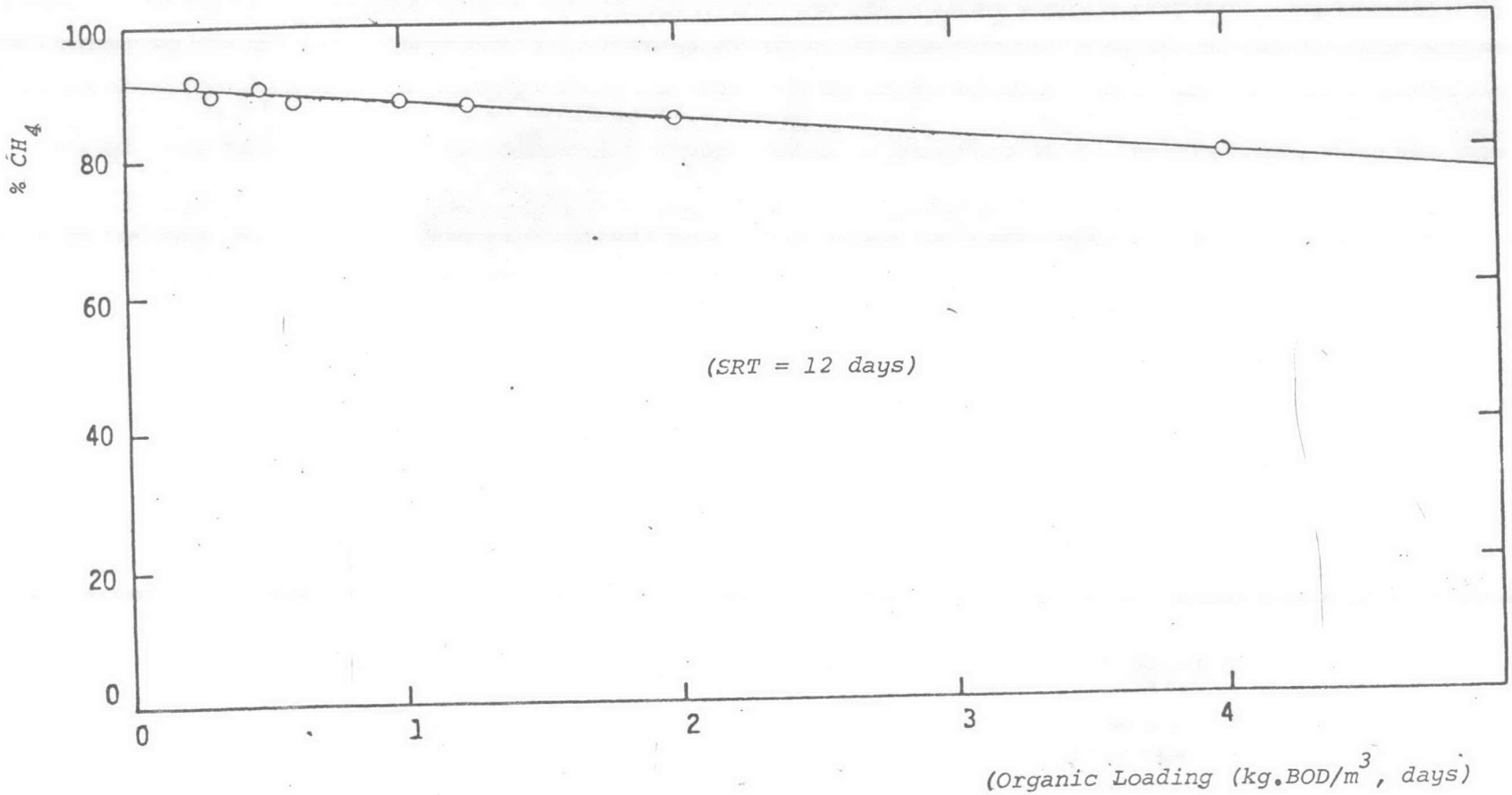
รูปที่ 34 แสดง Determination of Mean Reaction Rate Coefficient



รูปที่ 35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง *Biological Solid vs SRT* (θ_c)



รูปที่ - 36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง GAS VS ORGANIC LOADING



รูปที่ 37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % CH_4 vs ORGANIC LOADING
(SRT = 12 days, & COD influent = 1,400 mg/l - Synthetic)

การเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนจากอินทรีย์สาร ทำได้ไม่เต็มที่เท่ากับการคำนวณทางทฤษฎี. ดังนั้นปริมาตรมีเทนที่เกิด สามารถเป็นตัวบอกถึงประสิทธิภาพการกำจัดได้

ในทางทฤษฎีแล้วอินทรีย์สารจะเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนทุก 5.62 ฟ^3/ปอนด์ *BOD* และเมื่อนำไปคำนวณต่อไปตามสมการที่ *10* สามารถเอามาหาค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ เป็นก๊าซมีเทน, *e* ตามตารางที่ *32* และนำค่า *e* กับ *Organic Loading* ไปเขียนกราฟรูปที่ *38* จะเห็นว่าค่า *e* จะลดลงตามการเพิ่ม *Organic Loading* และเอาข้อมูล *HRT* กับ *e* จากตารางที่ *32* ไปเขียนกราฟรูปที่ *39* จะพบว่า *e* เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของ *HRT* และเมื่อ *HRT* ลดจาก *1* วันลงไป ค่า *e* จะลดลงในอัตราที่สูง.

สำหรับการเปลี่ยนแปลง *SRT* มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง *e* แสดงโดยการเขียนกราฟจากตารางที่ *22* และได้กราฟรูปที่ *40* จะเห็นว่าค่า *e* ที่อยู่ในช่วง *SRT* ประมาณ *10* วัน จะเป็นช่วงที่ค่า *e* สูงกว่าช่วงอื่น

ค่า *e* จากการทดลองอยู่ประมาณ *0.8-0.95* ซึ่งหากใช้วิธีการแอนแอโรบิกคอนแทคท์ในการกำจัดน้ำเสียจากส้วมแล้ว จะมีผลเท่ากับได้ก๊าซมีเทนอยู่เท่ากับ *6.5* ลบ.ดม.ต่อน้ำเสีย *22* ลบ.ดม. น้ำเสียนี้มาจากอุจจาระคนหนึ่งวัน ผสมน้ำ *60* ลบ.ดม. ดังนั้นเราจะได้ก๊าซมีเทนด้วยแอนแอโรบิกคอนแทคท์ประมาณ *17.7* ลบ.ดม./วัน ซึ่งเทียบเป็นความร้อนได้เท่ากับ *33.898 x 17.7 = 600Btu*/คน/วัน ซึ่งมีค่าเท่ากับค่าความร้อนที่ได้จาก *heavy fuel oil=0.015* ลบ.ดม

5.6 <u>ความเป็นด่าง, *pH* และกรดโวลาไทล์</u>

การทดลองวิจัยครั้งนี้ ทำการทดลองวิจัยโดยการควบคุม *pH* ให้อยู่ระหว่าง *6.8* ถึง *7.2* และอัตราส่วนระหว่างกรดโวลาไทล์กับด่าง น้อยกว่า *3* ตลอดการทดลอง. การควบคุมนี้มีผลให้ระบบกำจัดทำงานได้ผลดี และตลอดการทดลองไม่มีการแปรปรวนของความเป็นด่าง, *pH* และกรดโวลาไทล์. ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจึงไม่มีผลอันเกิดจากความเป็นด่าง, *pH* และกรดโวลาไทล์มากระทบกระเทือน.

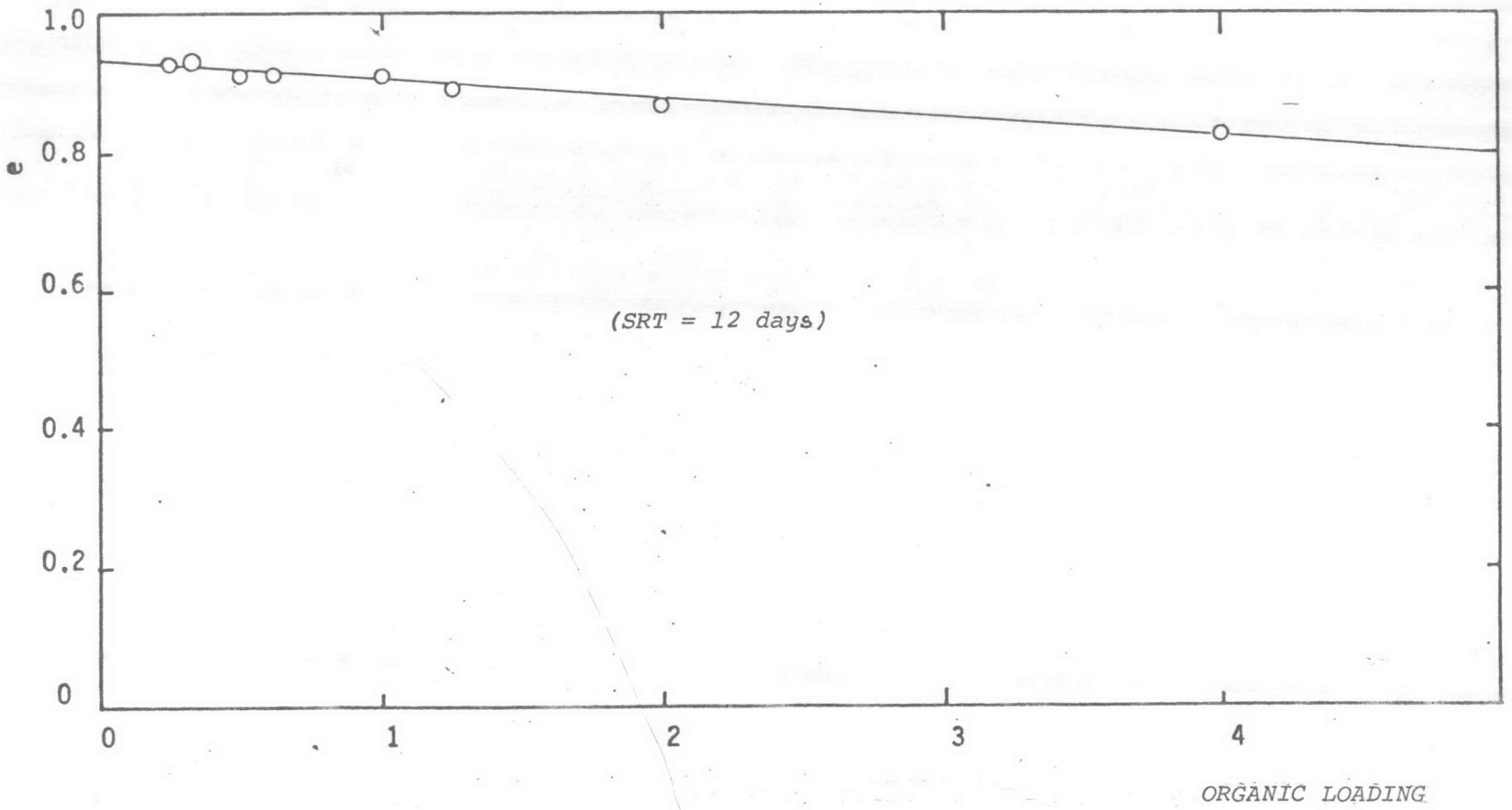
5.7 <u>อุณหภูมิ</u>

ตลอดการทดลองดำเนินภายใต้อุณหภูมิห้อง การทดลองทำอยู่ระหว่าง เดือนมกราคม ถึงเดือนเมษายน ของปี *2521* และ *2522* อุณหภูมิระหว่างที่ทำการทดลอง อยู่ระหว่าง *28°*

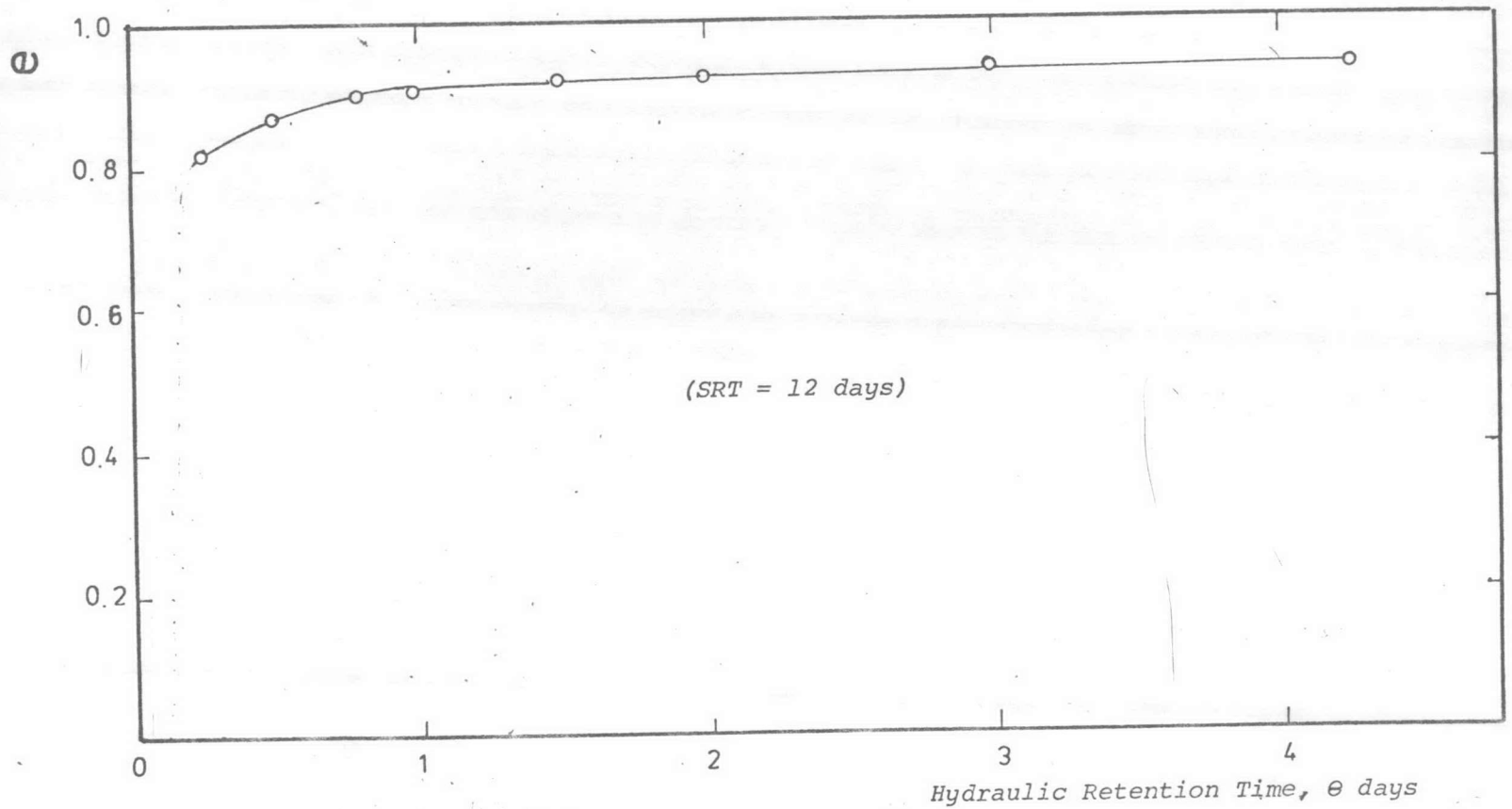
ตารางที่ 32 แสดงผลการคำนวณข้อมูลเพื่อหาประสิทธิภาพในการเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นมีเทน, e

SRT = 12 days

คุณสมบัติ	ระยะเวลาเก็บกักน้ำ, HRT days							
	4	3	2	1.5	1	0.8	0.5	0.25
Org. loading ($kg.BOD/m^3.day$)	0.25	0.33	0.50	0.66	1.00	1.25	2.00	4.00
S_o (kg/day)	0.0065	0.0082	0.0132	0.0171	0.0258	0.0325	0.0530	0.1000
5.62 S_o	0.0365	0.0461	0.0742	0.0961	0.1450	0.1827	0.2979	0.5620
Y_g	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
$Y_g S_o$	0.000325	0.000410	0.000666	0.000855	0.001290	0.001625	0.002650	0.005000
b (days)	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
1+b(SRT)	1.425	1.425	1.425	1.425	1.425	1.425	1.425	1.425
$\frac{dx}{dt}$ (kg/day)	0.000228	0.000288	0.000463	0.000600	0.000905	0.001140	0.001860	0.003510
5,62(1.42)$\frac{dx}{dt}$	0.001820	0.002296	0.003696	0.004788	0.007224	0.009100	0.014840	0.028000
C (m^3/day)	0.001990	0.002520	0.004004	0.005162	0.007699	0.009592	0.015222	0.025600
($F t^3$/day)	0.070276	0.088992	0.141399	0.182293	0.271886	0.338736	0.537557	0.964051
C/2.2046	0.031877	0.040368	0.064138	0.082688	0.123327	0.153650	0.243834	0.437291
e	0.9224	0.9270	0.9144	0.9102	0.9104	0.8910	0.868	0.828



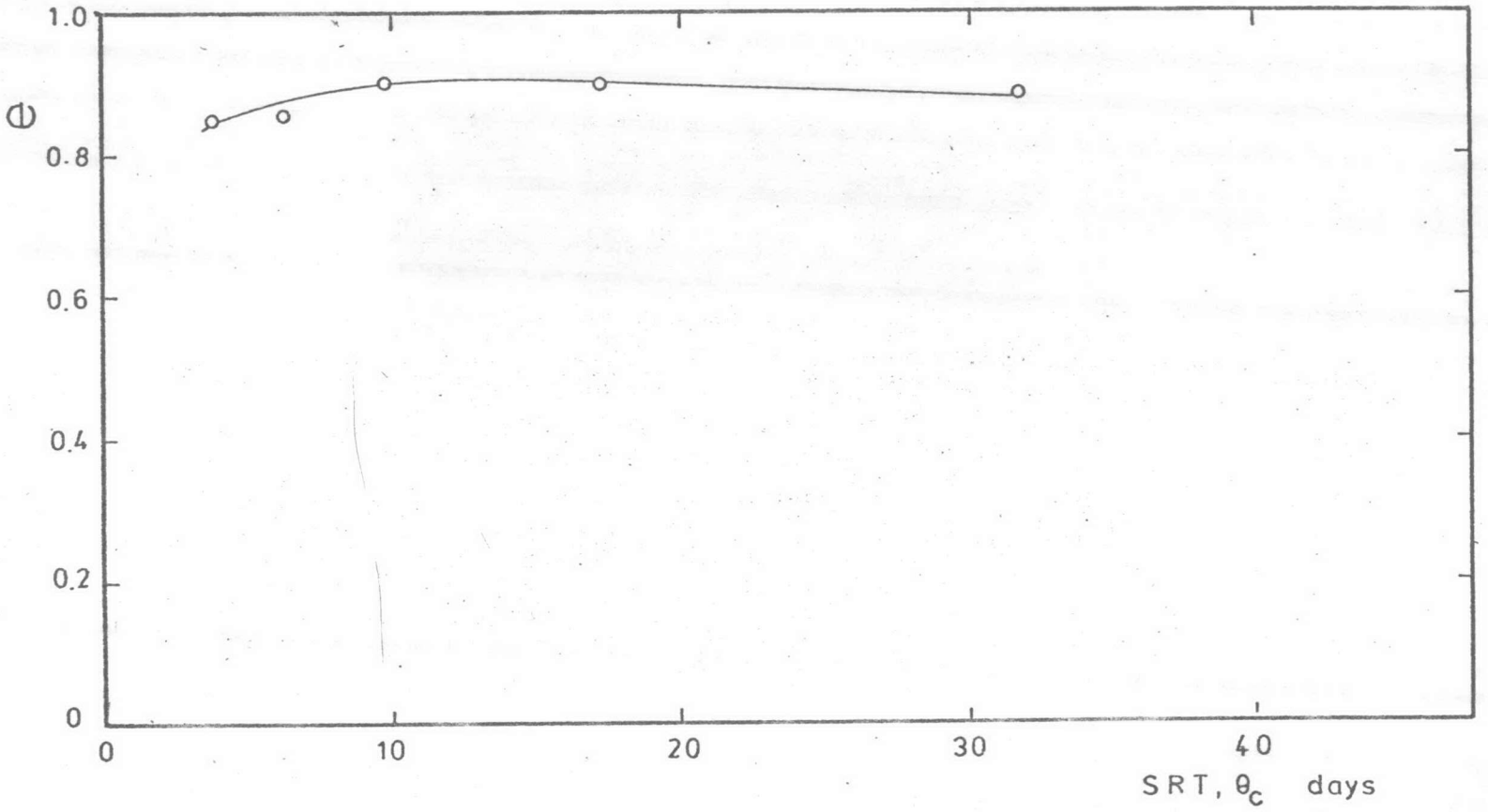
รูปที่ 38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นมีเทน (e) กับ ORGANIC LOADING



รูปที่ 39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพการเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นมีเทน กับ เวลาที่ใช้ในการเก็บกักน้ำ

ตารางที่ 33 แสดง ผลคำนวณข้อมูล (เวลาเก็บกักน้ำ, *H.R.T.* = 1.2 วัน และชีวบรรทุก, *Organic Loading.* = 0.83 kg.BOD/m^3-day.)
เพื่อหาประสิทธิภาพในการเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นมีเทน, e

คุณสมบัติ	ระยะเวลาเก็บกักตะกอน (*Solid Retention Time, S.R.T.*) = วัน					
	74	32	17	10	6	4
S_o kg/day	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022
$5.62 S_o$	0.1236	0.1236	0.1236	0.1236	0.1236	0.1236
Y_g	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
$Y_g S_o$	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011
b	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
$1 + b(SRT)$	2.85	1.80	1.425	1.25	1.15	1.10
$\frac{dx}{dt}$ kg/day	0.000386	0.000612	0.000772	0.000880	0.000957	0.001000
$5.62*1.42*\frac{dx}{dt}$	0.003081	0.004884	0.006160	0.007020	0.007640	0.007980
C m^3/day	0.00673	0.00653	0.00685	0.00655	0.00624	0.00602
Ft^3/day	0.23770	0.23064	0.24194	0.23135	0.22040	0.21263
$C/2.2046$	0.10782	0.10462	0.10974	0.10494	0.09997	0.09645
e	0.897	0.886	0.899	0.906	0.866	0.845



รูปที่ 40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นมีเทน กับ เวลาที่ใช้เก็บกักตะกอน

เซลเซียส ถึง 34° เซลเซียส. นับได้ว่าอุณหภูมิทั่วไปของประเทศไทยเหมาะสมกับการกำจัดด้วยวิธีแอนแอโรบิกคอนแทคท์ (*Mesophilic phase : 30°-35°*) เพราะไม่ต้องการใช้ตัวให้ความร้อน (*heater*).

5.8 ประสิทธิภาพของการกำจัดน้ำเสียและคุณภาพของน้ำเสียที่ผ่านการกำจัดน้ำเสีย

ประสิทธิภาพของการกำจัดน้ำเสียโดยทั่วไปแสดงเป็น *% COD removal* และคุณภาพการกำจัดน้ำเสียแสดงเป็น *Effluent COD* ซึ่งทั้งคู่นี้มีความสำคัญต่อการกำจัดน้ำเสีย เพื่อให้ได้คุณภาพน้ำเสียตามต้องการและประหยัด สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดที่แสดงเป็น *% COD removal* และยังสามารถประสิทธิภาพการกำจัด โดยแสดงเป็นประสิทธิภาพการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ให้เป็นมีเทน *(e)* เนื่องจากว่าแบคทีเรีย แบบแอนแอโรบิก ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ผลสุดท้ายเป็นก๊าซมีเทน การย่อยสลายนี้ทำได้ดีเพียงใดก็จะได้ก๊าซมีเทนมากเพียงนั้น และน้ำเสียก็จะสะอาดขึ้น เมื่อเปรียบเทียบปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้ ต่อก๊าซมีเทนที่คำนวณจากปริมาณอินทรีย์สารโดยทางชีวเคมี ก็จะได้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นมีเทน *(e)* ของระบบกำจัด จึงเป็นอีกทางหนึ่งที่จะบ่งบอกประสิทธิภาพของการกำจัด

ประสิทธิภาพของการกำจัดน้ำเสีย และคุณภาพของน้ำเสียที่ผ่านการกำจัดน้ำเสีย มีผลเนื่องจาก *SRT, Organic Loading* หรือ *HRT* พอจะสรุปได้คือ

5.8.1 ผลจาก *SRT* ต่อประสิทธิภาพของการกำจัดน้ำเสีย และคุณภาพของน้ำเสียที่ผ่านการกำจัดน้ำเสีย

SRT ที่เพิ่มขึ้นมีผลให้คุณภาพฯ สูงขึ้นคือ *Effluent COD* ต่ำลงตามการเพิ่ม *SRT* ทำนองเดียวกับเมื่อ *SRT* เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพฯ สูงขึ้นตามทั้ง *% COD removal* และค่า *e* จะสูงขึ้น ในกรณีที่ *SRT* สูงเกิน *20* วัน แล้วการเพิ่ม *SRT* ไม่มีผลมากนักต่อทั้งคุณภาพฯ และประสิทธิภาพฯ แต่ในกรณี *SRT* ต่ำ ๆ แล้ว ทั้งคุณภาพฯ และประสิทธิภาพฯ จะไม่ดีเลย ดังนั้น *SRT* จึงเป็นตัวจำกัดตัวหนึ่งของระบบการทดลอง ที่จะต้องควบคุมให้เพียงพอ *SRT* ที่เหมาะสมคือ *12* วัน

5.8.2 ผลจาก *Organic loading* ต่อประสิทธิภาพของการกำจัดน้ำเสีย และคุณภาพของน้ำเสียที่ผ่านการกำจัดน้ำเสีย

Organic loading ที่เพิ่มขึ้นมีผลให้คุณภาพฯ ลดลงคือ *Effluent COD* เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของ *Organic loading* ที่เพิ่มขึ้น ทำนองเดียวกันประสิทธิภาพฯ จะลดลงทั้ง % *COD removal* และค่า *e* จะลดตามการเพิ่มของ *Organic loading* ในกรณีที่ *Organic loading* มาก ๆ แล้ว ระบบกำจัดจะทำงานไม่ได้ผล จึงต้องควบคุมให้ *Organic loading* ให้มีปริมาณอยู่ในระดับหนึ่ง คือ *0.8-3.0* กก.*BOD*/ม^3.วัน.

5.8.3 ผลจาก *HRT* ต่อประสิทธิภาพของการกำจัดน้ำเสียและคุณภาพของน้ำเสียที่ผ่านการกำจัดน้ำเสีย

โดยทั่วไป *HRT* เพิ่มมากขึ้น ทำให้คุณภาพฯ และประสิทธิภาพฯ สูงขึ้นตาม และเมื่อ *HRT* มากเกิน *2* วันแล้ว การเพิ่ม *HRT* ไม่มีผลมากนักต่อทั้งคุณภาพฯ และประสิทธิภาพฯ และหาก *HRT* น้อยมาก จะมีผลในการลดคุณภาพฯ และประสิทธิภาพฯ โดยเฉพาะ *HRT* น้อยมาก ดังนั้น *HRT* ที่เหมาะสมคือ *1* วัน