บทที่ 3

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของลักษณะน้ำเสียในโรงพยาบาล

จากการศึกษาการบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาล 3 แห่ง ใน จังหวัดสงขลา (มกราคม 2544) ได้แก่ โรงพยาบาลหาดใหญ่ โรงพยาบาลสงขลานครินทร์ และ โรงพยาบาลราษฎร์ยินดี โดยทำการศึกษา ลักษณะสมบัติของน้ำในจุดน้ำเข้าและออกจากบ่อเติมคลอรีน และข้อมูลการเดินระบบในการเติมคลอรีน ดังแสดงในตาราง 4 โดยมีรายละเอียดดังนี้

ตาราง 4 แสดงลักษณะสมบัติน้ำเสียโรงพยาบาล

Parameters	รพ.หาดใหญ่		รพ.สงขลานครินทร์		รพ.ราษฎร์ยินดี	
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet
อุณหภูมิ (^{0}C)	28	28	29	29	28	29
pH	5.84	5.43	6.55	6.52	5.95	6.57
COD (mg/l)	58	47	43	28	41	49
Residual chlorine (mg/l)	0.4	3.7	0.4	0.4	0.4	0.4
SS (mg/l)	28	24	20	17	22	8
NH_3-N (mg/l)	0.5	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5
coliform (MPN/100ml)	5.4×10^5	< 2	9.4×10^3	2.3×10^3	4.6×10^4	2.2×10^4
fecal coliform (MPN/100ml)	4.9×10^5	< 2	4.9×10^3	1.7×10^3	4.9×10^3	9.3×10^3
coliphage* (PFU/ml)	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND = ไม่พบจุลินทรีย์

Inlet = น้ำเสียก่อนเข้าสู่บ่อเติมคลอรีน

Outlet = น้ำเสียออกจากบ่อเติมคลอรีน

coliphage* = ทำการตรวจสอบโดยใช้ *E.coli* K-12, F^{+}(A/λ) เป็น host

1.1 โรงพยาบาลหาดใหญ่

การบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลหาดใหญ่ ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (activated sludge) โดยใช้โซเดียมไฮโปคลอไรด์ (NaOCl) 10 % ในการทำลายจุลินทรีย์ ซึ่งใช้เวลาในการสัมผัสกับคลอรีนประมาณ 30 นาที ก่อนปล่อยลงสู่ท่อระบายน้ำสาธารณะ ลักษณะสมบัติน้ำเสียก่อนเข้าสู่บ่อเติมคลอรีน พบว่ามีค่า pH 5.84 มีปริมาณสารอินทรีย์ในเทอม COD 58 mg/l แอมโมเนียไนโตรเจน 0.5 mg/l มีปริมาณตะกอนแขวนลอย 28 mg/l และคลอรีนตกค้าง 0.4 mg/l สำหรับลักษณะสมบัติทางชีวภาพ พบ coliform และ fecal coliform 5.4 X 10^5 และ 4.9 X 10^4 MPN/100 ml ตามลำดับ และไม่พบ coliphage

สำหรับน้ำเสียออกจากบ่อเติมคลอรีน พบว่ามีค่า pH 5.43 มีปริมาณสารอินทรีย์ในเทอม COD 47 mg/l แอมโมเนียไนโตรเจน 0.2 mg/l มีปริมาณตะกอนแขวนลอย 24 mg/l และคลอรีนตกค้าง 3.7 mg/l สำหรับลักษณะสมบัติทางชีวภาพ พบ coliform และ fecal coliform <2 MPN/100 ml และไม่พบ coliphage

1.2 โรงพยาบาลสงขลานครินทร์

โรงพยาบาลสงขลานครินทร์เป็นโรงพยาบาลในสังกัดทบวงมหาวิทยาลัย ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ aerated lagoon ตามด้วยบ่อผึ่ง (oxidation pond) การบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากโรงพยาบาล ใช้โซเดียมไฮโปคลอไรด์ (NaOCl) 10 % ในการทำลายจุลินทรีย์ ซึ่งใช้เวลาในการสัมผัสกับคลอรีนประมาณ 30 นาที ก่อนปล่อยลงสู่ท่อระบายน้ำสาธารณะ ลักษณะสมบัติน้ำเสียก่อนเข้าสู่บ่อเติมคลอรีน พบว่า มีค่า pH 6.55 มีปริมาณสารอินทรีย์ในเทอม COD 43 mg/l แอมโมเนียไนโตรเจน 0.4 mg/l มีปริมาณตะกอนแขวนลอย 20 mg/l และคลอรีนตกค้าง 0.4 mg/l สำหรับลักษณะสมบัติทางชีวภาพ พบ coliform และ fecal coliform 9.4 $\times 10^3$ และ 4.9 $\times 10^3$ MPN/100 ml ตามลำดับ และไม่พบ coliphage

สำหรับน้ำเสียออกจากบ่อเติมคลอรีน พบว่ามีค่า pH 6.52 มีปริมาณสารอินทรีย์ในเทอม COD 28 mg/l แอมโมเนียไนโตรเจน 0.2 mg/l มีปริมาณตะกอนแขวนลอย 17 mg/l และคลอรีนตกค้าง 0.4 mg/l สำหรับลักษณะสมบัติทางชีวภาพ พบ coliform และ fecal coliform 2.3 $\times 10^3$ และ 1.7 $\times 10^3$ MPN/100 ml ตามลำดับ และไม่พบ coliphage

1.3 โรงพยาบาลราษฎร์ยินดี

โรงพยาบาลราษฎร์ยินดีเป็นโรงพยาบาลเอกชน ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (activated sludge) บำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากโรงพยาบาลโดยใช้แคลเซียมไฮโปคลอไรด์ ($Ca(OCl_2)$) 65 % ในการทำลายจุลินทรีย์ ซึ่งใช้เวลาในการสัมผัสกับคลอรีนประมาณ 30 นาที ก่อนปล่อยลงสู่ท่อระบายน้ำสาธารณะ ลักษณะสมบัติน้ำเสียก่อนเข้าสู่บ่อเติมคลอรีน พบว่า มีค่า pH 5.95 มีปริมาณสารอินทรีย์ในเทอม COD 41 mg/l แอมโมเนียไนโตรเจน 0.4 mg/l มีปริมาณตะกอนแขวนลอย 22 mg/l และคลอรีนตกค้าง 0.4 mg/l สำหรับลักษณะสมบัติทางชีวภาพ พบ coliform และ fecal coliform 4.6×10^4 และ 4.9×10^3 MPN/100 ml ตามลำดับ และไม่พบ coliphage

สำหรับน้ำเสียออกจากบ่อเติมคลอรีน พบว่ามีค่า pH 6.57 มีปริมาณสารอินทรีย์ในเทอม COD 49 mg/l แอมโมเนียไนโตรเจน 0.5 mg/l มีปริมาณตะกอนแขวนลอย 8 mg/l และคลอรีนตกค้าง 0.4 mg/l สำหรับลักษณะสมบัติทางชีวภาพ พบ coliform และ fecal coliform 2.2×10^4 และ 9.3×10^3 MPN/100 ml ตามลำดับ และไม่พบ coliphage

2. ผลการศึกษาการคงชีพของจุลินทรีย์และการทำลายจุลินทรีย์ด้วยคลอรีน

การศึกษาการคงชีพของจุลินทรีย์ และ การทำลายแบคทีเรียและไวรัสด้วยคลอรีน ภายใต้ระยะเวลาที่กำหนดและความแตกต่างจากปัจจัย ต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ ปริมาณสารอินทรีย์ แอมโมเนียไนโตรเจน ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณคลอรีน และ ปริมาณตะกอนแขวนลอย ซึ่งทำการศึกษาในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียโรงพยาบาล โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 30 $^{\circ}C$ ซึ่งใช้ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ และ Qβ coliphage เป็นตัวแทนในการศึกษา โดยมีรายละเอียดของผลการศึกษาดังนี้

2.1 น้ำเสียสังเคราะห์

2.1.1 *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$

ผลการทดลองการคงชีพและการทำลาย *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ด้วยคลอรีนในน้ำเสียสังเคราะห์ แสดงไว้ในตารางภาคผนวก 1 และภาพประกอบ 2 และมีรายละเอียดผลการทดลองดังนี้

2.1.1.1 ปริมาณสารอินทรีย์ที่มีผลต่อการคงชีพของ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$

น้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ตั้งแต่ 0 (ชุดควบคุม), 20, 50 และ 100 mg/l พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ในปริมาณที่แตกต่างกันไป ดังแสดงในภาพประกอบ 2(a) กล่าวคือ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ในชุดควบคุมที่ไม่มีสารอินทรีย์ในเทอม COD มีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ในช่วงเวลา 180 นาที ขณะที่ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ในชุดทดลองที่มีสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย (20 mg/l) พบว่า ในช่วง 60 นาที จะมีการลดลงอย่างต่อเนื่องหลังจากนั้น *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ส่วน *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ในชุดทดลองที่มีสารอินทรีย์ 50 mg/l พบว่า มีการลดลงเล็กน้อยในช่วง 30 นาที หลังจากนั้น *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกับน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ในปริมาณสูง (100 mg/l) โดยน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์น้อยกว่าจะมีการลดลงของ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ได้มากกว่าน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ในปริมาณสูง ซึ่งพิจารณาได้จากค่าคงที่ (k) ของอัตราการลดลงของจุลินทรีย์ จากความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนจุลินทรีย์กับระยะเวลา ซึ่งนำมาคำนวณในรูปแบบ ปฏิกริยาลำดับที่หนึ่ง (First-Order Reactions) ดังนี้

$$\frac{d(N)}{dt} = -k(N) \qquad (3)$$

หรือ

$$\frac{d(N)}{(N)} = -kdt \qquad (4)$$

อินทิเกรต (Integrate) สมการนี้ จะได้

$$\ln \frac{(N)_t}{(N)_0} = -k(t - t_0) \qquad (5)$$

จากสมการ(5) $(t)_0$ = เวลาเริ่มต้น = 0 (มีค่าเท่ากับศูนย์) จะได้

$$-\ln \frac{(N)_t}{(N)_0} = kt \qquad (6)$$

ในเมื่อ $(N)_t$ = จำนวนจุลินทรีย์ ณ เวลา t (CFU/ml สำหรับ *E.coli* K-12,$^{+}$(A/λ), PFU/ml สำหรับ coliphage)

$(N)_0$ = จำนวนจุลินทรีย์ที่เวลา = 0 (CFU/ml สำหรับ *E.coli* K-12,F^{+}(A/λ), PFU/ml สำหรับ coliphage)

(t) = เวลากำจัดจุลินทรีย์ (นาที)

k = ค่าคงที่ของอัตราการตาย (นาที$^{-1}$)

สมการ(6) เป็นสมการเส้นตรง สามารถหาอัตราการลดลงหรือค่าคงที่ (k) ของจุลินทรีย์ได้โดยพลอตกราฟความสัมพันธ์ของ $-\ln \frac{(N)_t}{(N)_0}$ กับ เวลา (t) ความชันของกราฟจะเท่ากับค่าคงที่ (k), (ตาราง 5) โดยค่า k ที่มีค่าสูงจะมีอัตราการตายหรืออัตราการลดลงของจุลินทรีย์สูง ทางตรงข้ามเมื่อค่า k มีค่าต่ำในสภาวะเช่นนั้นจุลินทรีย์จะมีอัตราการตายต่ำ จากผลการทดลองภายใต้เงื่อนไขน้ำที่มีสารอินทรีย์ 0, 20 และ 50 mg/l พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงของ *E.coli* K-12, F^{+}(A/λ) โดยมีค่า k เท่ากับ 0.0602, 0.0323 และ0.0209 นาที$^{-1}$ ตามลำดับ ในช่วง 30 นาที ในขณะที่ชุดทดลองที่มีปริมาณสารอินทรีย์ 100 mg/l *E.coli* K-12, F^{+}(A/λ) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การลดลงของ *E.coli* K-12, F^{+}(A/λ) ในช่วง 30 นาที น้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ 0, 20 และ 50 mg/l พบว่ามีการลดลง *E.coli* K-12, F^{+}(A/λ) เท่ากับ 77.14, 60.00 และ 45.45 % ตามลำดับ ในขณะที่ชุดทดลองที่มีสารอินทรีย์ 100 mg/l มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของ *E.coli* K-12, F^{+}(A/λ) เท่ากับ 5% โดยชุดทดลองที่มีสารอินทรีย์ 100 mg/l เมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น ปริมาณของ *E.coli* K-12, F^{+}(A/λ) มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ซึ่งพิจารณาได้จากค่าคงที่ (a) ของอัตราการเพิ่มขึ้นของจุลินทรีย์ จากความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนจุลินทรีย์กับระยะเวลา ซึ่งนำมาคำนวณในรูปแบบปฏิกิริยาลำดับที่หนึ่ง (First-Order Reactions) ดังนี้

$$\frac{d(N)}{dt} = a(N) \qquad (7)$$

อินทิเกรต (Integrate) สมการนี้ จะได้

$$\ln \frac{(N)_t}{(N)_0} = a(t - t_0) \qquad (8)$$

จากสมการ(8) $(t)_0$ = เวลาเริ่มต้น = 0 (มีค่าเท่ากับศูนย์) จะได้

$$\ln \frac{(N)_t}{(N)_0} = at \qquad (9)$$

ในเมื่อ $(N)_t$ = จำนวนจุลินทรีย์ ณ เวลา t (CFU/ml สำหรับ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$, PFU/ml สำหรับ coliphage)

$(N)_0$ = จำนวนจุลินทรีย์ที่เวลา = 0 (CFU/ml สำหรับ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$, PFU/ml สำหรับ coliphage)

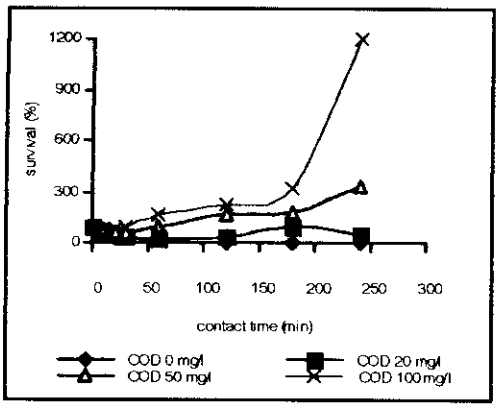
(t) = ระยะเวลา (นาที)

a = ค่าคงที่ของการเพิ่มขึ้นของจุลินทรีย์ (นาที$^{-1}$)

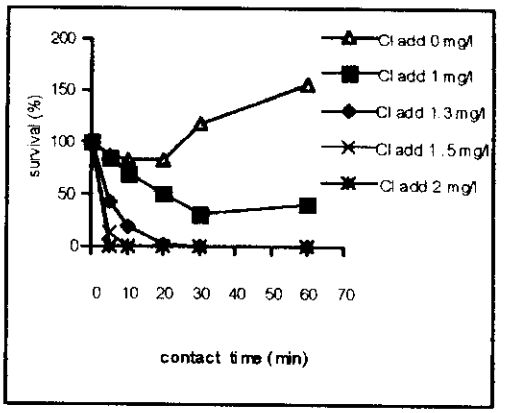
ค่าคงที่ (a) จะมีความหมายตรงข้ามกับค่า k ซึ่งค่า a แสดงถึงอัตราการเพิ่มขึ้นต่อหน่วยเวลาของ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ โดยในชุดทดลองที่มีสารอินทรีย์ 100 mg/l เมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้นจะมีปริมาณของ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ เพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีอัตราการเพิ่มขึ้นต่อหน่วยเวลา (ค่าคงที่ a) เท่ากับ 0.0084 นาที$^{-1}$ ในช่วง 240 นาที แสดงให้เห็นว่า น้ำที่ไม่ได้เติมสารอินทรีย์หรือมีในปริมาณต่ำมีการลดลงของ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ สูงกว่าน้ำที่มีสารอินทรีย์ในปริมาณสูง โดยที่น้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ในปริมาณสูงมาก *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ มีแนวโน้มเพิ่มจำนวนมากขึ้น

2.1.1.2 ความเข้มข้นของคลอรีนที่มีผลต่อการทำลาย *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$

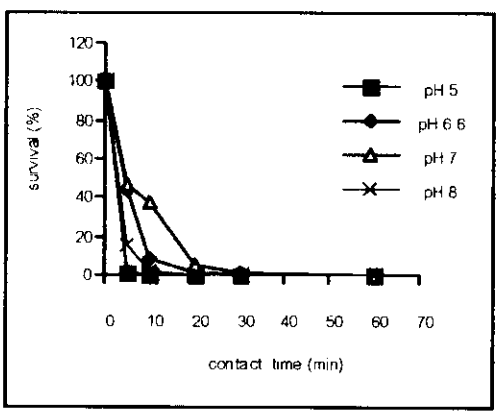
E.coli K-12, $F^+(A/\lambda)$ ในน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ ประมาณ 100 mg/l หลังจากผ่านการเติมคลอรีนให้น้ำเสียมีความเข้มข้นต่างกัน ตั้งแต่ 0 (ชุดควบคุม), 1, 1.3, 1.5, 2 mg/l ได้ผลการเปลี่ยนแปลงของ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ดังแสดงในภาพประกอบ 2(b) โดยพบว่าชุดทดลองที่มีการเติมคลอรีนมากสุด (2 mg/l) *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ มีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วจนไม่สามารถตรวจพบโคโลนีของ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ได้ ในช่วง 10 นาที ในขณะที่ชุดทดลองที่มีการเติมคลอรีน 1.5 mg/l *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ มีการลดลงและไม่สามารถตรวจพบโคโลนีของ



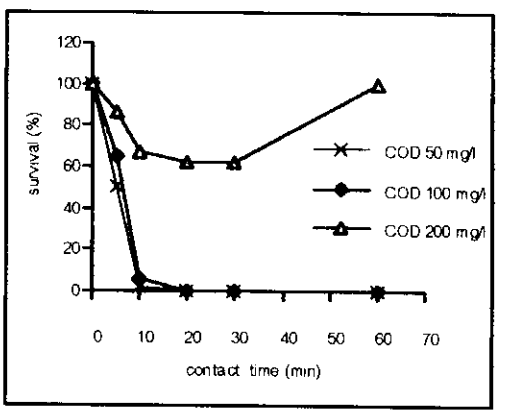
(a) สารอินทรีย์ที่มีผลต่อการคงชีพของ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$



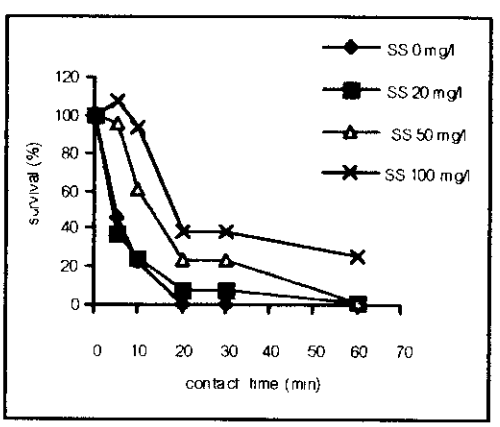
(b) ปริมาณคลอรีนที่มีผลต่อการคงชีพของ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$



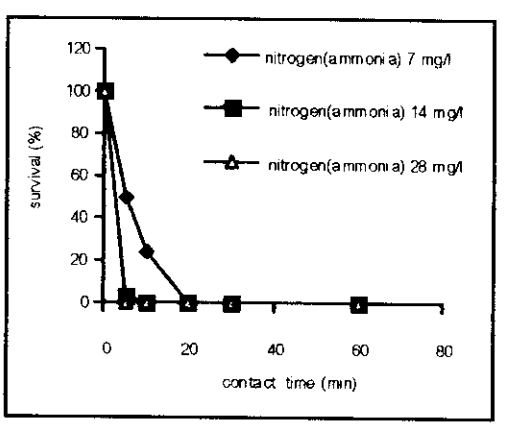
(c) ผลของ pH ที่มีต่อการทำลาย *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ในน้ำเสีย ที่มีการเติมคลอรีนให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 1.3 mg/l



(d) ผลของสารอินทรีย์ที่มีต่อการทำลาย *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ในน้ำเสียที่มีการเติมคลอรีนให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 1.3 mg/l,



(e) ผลของตะกอนแขวนลอยที่มีต่อการทำลาย *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ในน้ำเสียที่มีการเติมคลอรีนให้มีความเข้มข้น1.3 mg/l



(f) ผลของแอมโมเนียไนโตรเจนที่มีต่อการทำลาย *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ในน้ำเสียที่มีการเติมคลอรีนให้มีความเข้มข้น 1.3 mg/l

ภาพประกอบ 2 (a),(b),(c),(d),(e),(f) แสดงการเปลี่ยนแปลง *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ในน้ำเสีย สังเคราะห์จากปัจจัยการทดลองต่าง ๆ

ตาราง 5 แสดงอัตราการตายของ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ และ coliphage จากปัจจัยต่าง ๆ ในน้ำเสียสังเคราะห์

ปัจจัยการทดลอง	*E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$					coliphage				
	สภาวะน้ำเสียของชุดทดลอง		อัตราการตาย (%)[a]	k (นาที$^{-1}$)	R^2	สภาวะน้ำเสียของชุดทดลอง		อัตราการตาย (%)[a]	k (นาที$^{-1}$)	R^2
1.สารอินทรีย์ที่มีผลต่อการคงชีพของจุลินทรีย์	COD (mg/l)	0[b]	77.14	0.0602	0.8058	COD (mg/l)	0[b]	0	*	*
		20	60.00	0.0323	0.9819		20	0	*	*
		50	45.45	0.0209	0.9923		50	0	*	*
		100	5	*	*		100	- 10	*	*
2.ความเข้มข้นของคลอรีนที่มีผลต่อการอยู่รอดของจุลินทรีย์	Cl add (mg/l)	0[b]	-17.24	*	*	Cl add (mg/l)	0[b]	2	*	*
		1	69.50	0.0378	0.9911		1	15.12	0.0067	0.8214
		1.3	99.86	0.2141	0.9881		1.3	36.00	0.014	0.8214
		1.5	>99.99	0.5455	0.9574		1.5	35.83	0.0174	0.7491
		2	>99.99	1.3904	1		2	40.91	0.0199	0.805
3[c].pH ที่มีผลต่อการทำลายจุลินทรีย์ด้วยคลอรีน	pH	5	>99.99	0.7602	0.9599	pH	5	55.45	0.0282	0.8908
		6.6[b]	99.67	0.21	0.9566		6.6[b]	34.17	0.0169	0.9457
		7	99.35	0.1558	09684		7	35.00	0.0127	0.9356
		8	99.96	0.2949	0.9152		8	19.17	0.0058	0.8121
4[c].สารอินทรีย์ที่มีผลต่อการทำลายจุลินทรีย์ด้วยคลอรีน	COD (mg/l)	50	>99.99	0.4056	0.9559	COD (mg/l)	50	37.08	0.0187	0.8152
		100[b]	99.73	0.2095	0.9571		100[b]	35.00	0.0169	0.7988
		200	38.10	0.0213	0.6248		200	2.53	0.0007	02617
5[c].ตะกอนแขวนลอยที่มีผลต่อทำลายจุลินทรีย์ด้วยคลอรีน	SS (mg/l)	0[b]	99.80	0.2002	0.987	SS (mg/l)	0[b]	32.97	0.0134	0.9949
		20	92.67	0.0987	0.8538		20	22.06	0.0083	0.9248
		50	77.11	0.0522	0.9497		50	14.10	0.0047	0.9164
		100	62.12	0.027	0.8416		100	2.30	0.0008	0.7857
6[c].NH_3-N ที่มีผลต่อการทำลายจุลินทรีย์ด้วยคลอรีน	NH_3- N (mg/l)	7[b]	99.91	0.2095	0.9558	NH_3- N (mg/l)	7[b]	33.80	0.0149	0.9637
		14	>99.99	0.876	0.9867		14	44.44	0.0184	0.9818
		28	>99.99	1.0718	0.9265		28	57.81	0.0264	0.958

* = มีความสัมพันธ์ไม่เป็นไปตามรูปแบบปฏิกิริยาลำดับที่หนึ่ง (First-Order Reactions)

a = เปอร์เซ็นต์การตายในช่วง 30 นาที $\frac{(N_0 - N_t)}{(N)_0} \times 100$

b = ชุดควบคุม

c = เติมคลอรีนให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 1.3 mg/l

k = ค่าคงที่ของอัตราการตาย (นาที$^{-1}$) ในช่วง 30 นาที จากสมการ $-\ln\frac{(N)_t}{(N)_0} = k\,t$

E.coli K-12, $F^+(A/\lambda)$ ในช่วง 30 นาที สำหรับชุดทดลองที่มีการเติมคลอรีน 1 mg/l และ 3 mg/l ทั้งสองชุดทดลองยังสามารถตรวจพบโคโลนีของ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ในช่วง 30 นาที น้ำเสียที่เติมคลอรีนมากกว่ามีการลดลงของ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ มากกว่า ส่วนชุดทดลองที่ไม่มีการเติมคลอรีน ปรากฏว่ามีการลดลงของ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ อย่างเล็กน้อย ในช่วง 20 นาที และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในช่วงเวลา 30 นาที ซึ่งเมื่อพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การตายของ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ในเวลา 30 นาที และค่า k ดังแสดงในตาราง 5 พบว่า ในชุดทดลองที่มีการเติมคลอรีน 1, 1.3, 1.5 และ 2 mg/l เปอร์เซ็นต์การลดลงของ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ มีค่าเท่ากับ 69.50, 99.86, >99.99 และ >99.99 % ตามลำดับ ในขณะที่ชุดทดลองที่ไม่เติมคลอรีนมีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ เท่ากับ 17.24 %

เมื่อพิจารณาจากค่า k ของอัตราการลดลงของ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ จากสมการ (6) พบว่าชุดทดลองที่มีการเติมคลอรีนให้มีความเข้มข้นของคลอรีนเท่ากับ 1, 1.3, 1.5 และ 2 mg/l มีค่า k เท่ากับ 0.0378, 0.2141, 0.5455 และ 1.3904 นาที$^{-1}$ ตามลำดับ ในช่วง 30 นาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่า k จะมีค่าสูงขึ้นหรือมีอัตราการตายของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของคลอรีนในน้ำเสียที่มีเพิ่มมากขึ้น

2.1.1.3 ผลของ pH ที่มีต่อการทำลาย *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ด้วยคลอรีน

น้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ประมาณ 100 mg/l มีค่า pH 5, 6.6 (ชุดควบคุม), 7 และ 8 หลังจากผ่านการเติมคลอรีนให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 1.3 mg/l ได้ผลการเปลี่ยนแปลงของ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ดังแสดงในภาพประกอบ 2(c) โดยพบว่า ทุกชุดทดลอง *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ มีแนวโน้มลดลงแต่ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ในชุดทดลองตัวอย่างน้ำเสียที่ค่า pH ต่ำ (pH 5) มีการลดลงอย่างรวดเร็วจนไม่สามารถตรวจพบโคโลนีของ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ได้ ในช่วง 20 นาที และมีค่า k เท่ากับ 0.7602 นาที$^{-1}$ ในขณะที่น้ำเสียที่ pH 6.5 และ 7 มีค่า k เท่ากับ 0.21 และ 0.1558 นาที$^{-1}$ ตามลำดับ และน้ำเสียที่มีค่า pH สูง (pH 8) *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ มีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกัน โดยมีค่า k 0.2949 นาที$^{-1}$ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การลดลงของ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ในช่วง 30 นาที พบว่า ในชุดทดลองที่มี pH 5, 6.5, 7 และ 8 มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ เท่ากับ >99.99, 99.67, 99.35 และ 99.96 % ตามลำดับ (ตาราง 5)

2.1.1.4 ผลของปริมาณสารอินทรีย์ที่มีผลต่อการทำลาย *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ด้วยคลอรีน

E.coli K-12, $F^+(A/\lambda)$ ในน้ำเสียที่มีระดับสารอินทรีย์ 50 , 100 และ 200 mg/l เมื่อนำไปเติมคลอรีนให้มีความเข้มข้น 1.3 mg/l พบการเปลี่ยนแปลงของ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ดังแสดงในภาพประกอบ 2(d) โดย *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ในชุดทดลองที่มีสารอินทรีย์ 50 mg/l มีการลดลงของ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ มากที่สุด โดยพิจารณาจากค่า k และเปอร์เซ็นต์การตาย ดังแสดงในตาราง 5 พบว่า มีค่า k เท่ากับ 0.4056 นาที$^{-1}$ และเมื่อเพิ่มสารอินทรีย์ในน้ำให้มากขึ้นในปริมาณ 100 และ 200 mg/l พบว่ามีค่า k เท่ากับ 0.2095 และ 0.0213 นาที$^{-1}$ ตามลำดับ ในช่วง 30 นาที ซึ่งเมื่อพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การลดลงของ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ในช่วง 30 นาที พบว่า ในชุดทดลองที่มี ระดับสารอินทรีย์ 50, 100 และ 200 mg/l มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ เท่ากับ >99.99, 99.73 และ 38.10 % ตามลำดับ โดยชุดทดลองที่ปริมาณสารอินทรีย์ 200 mg/l *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ มีแนวโน้มลดลง ในช่วง 30 นาที หลังจากนั้น *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ มีแนวโน้มเพิ่มจำนวนมากขึ้น ในขณะที่ชุดทดลองที่มีระดับสารอินทรีย์ 50 และ 100 mg/l *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ มีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา (60 นาที) ซึ่งจะเห็นได้ว่าการทำลาย *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ด้วยคลอรีนในน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ต่ำมีผลต่อการทำลาย *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ได้มากกว่าน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ในปริมาณสูง

2.1.1.5 ปริมาณตะกอนแขวนลอยที่มีผลต่อการทำลาย *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ด้วยคลอรีน

E.coli K-12, $F^+(A/\lambda)$ ในน้ำที่มีระดับสารอินทรีย์ประมาณ 100 mg/l และมีตะกอนแขวนลอย 0 (ชุดควบคุม), 20, 50 และ 100 mg/l เมื่อนำไปเติมคลอรีนให้มีความเข้มข้น 1.3 mg/l พบว่ามีการเปลี่ยนแปลง *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ดังแสดงในภาพประกอบ 2(e) โดยทุกชุดทดลอง *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ มีแนวโน้มลดลง ซึ่งในชุดทดลองที่ไม่มีตะกอนแขวนลอย (ชุดควบคุม) จะมีการลดลงของ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ มากที่สุด ในขณะที่น้ำเสียที่มีตะกอนแขวนลอย 20, 50 และ 100 mg/l จะมีการลดลงของ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ มาก ปานกลาง และต่ำ ตามลำดับ โดยมีค่า k (ตาราง 5)เท่ากับ 0.2002, 0.0987, 0.0522 และ 0.027 นาที$^{-1}$ ตามลำดับ ในช่วง 30 นาที เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การลดลงของ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ในช่วง 30 นาที พบว่า ในชุดทดลองที่มี ระดับตะกอนแขวนลอย 0, 20, 50 และ 100 mg/l มีเปอร์เซ็นต์

การลดลงของ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ เป็น 99.80, 92.67, 77.11 และ 62.12 % ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตะกอนแขวนลอยในน้ำเสียมีผลต่อการทำลาย *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ด้วยคลอรีน

2.1.1.6 ผลของแอมโมเนียไนโตรเจนที่มีผลต่อการทำลาย *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ด้วยคลอรีน

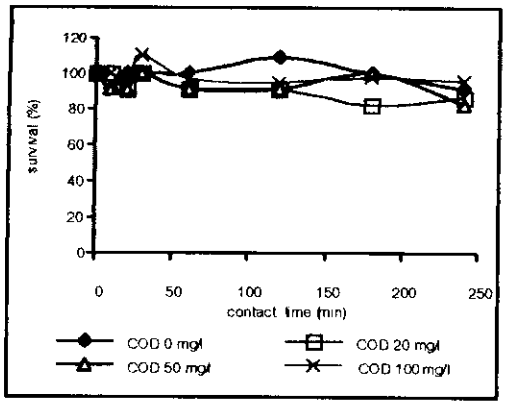
E.coli K-12, $F^+(A/\lambda)$ ในน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ประมาณ 100 mg/l มีแอมโมเนียไนโตรเจน 7, 14 และ 28 mg/l หลังจากนำไปเติมคลอรีนให้มีความเข้มข้น 1.3 mg/l พบว่ามีการเปลี่ยนแปลง *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ดังแสดงในภาพประกอบ 2(f) โดยทุกชุดการทดลอง *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ มีแนวโน้มลดลง กล่าวคือ จุลินทรีย์ในน้ำเสียที่มีแอมโมเนียไนโตรเจนสูง (28 mg/l) และปานกลาง (14 mg/l) มีการลดลงอย่างรวดเร็ว โดยทั้ง 2 ชุดทดลองไม่พบโคโลนีของ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ในช่วง 20 นาทีและมีการลดลงมากกว่าน้ำเสียที่มีแอมโมเนียไนโตรเจนต่ำ (7 mg/l) ซึ่งพิจารณาได้จากค่าคงที่ พบว่า มีค่า k เท่ากับ 1.0718, 0.876 และ 0.2095 นาที$^{-1}$ ในน้ำเสียที่มีแอมโมเนียไนโตรเจนสูง ปานกลาง และ ต่ำ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การลดลงของ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ในช่วง 30 นาที พบว่า ในชุดทดลองที่มีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน 7, 14 และ 28 mg/l มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ เท่ากับ 99.91, >99.99 และ >99.99 % ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ในน้ำเสียที่มีแอมโมเนียไนโตรเจนสูง มีค่าคงที่สูงกว่าน้ำเสียที่มีแอมโมเนียไนโตรเจนต่ำ

2.1.2 Qβ coliphage

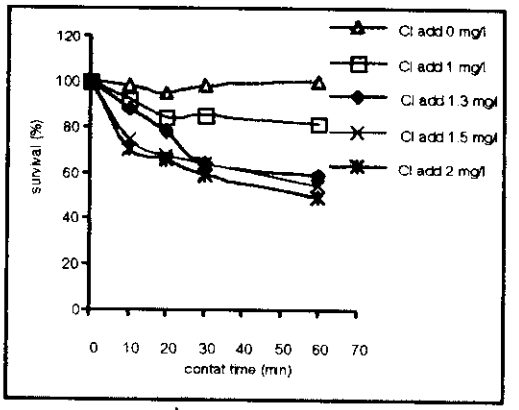
การทดลองการคงชีพและการทำลาย coliphage ด้วยคลอรีนในน้ำเสียสังเคราะห์ มีผลการทดลองดังแสดงในตารางภาคผนวก 2 และภาพประกอบ 3 โดยแสดงค่า k และเปอร์เซนต์การตายของ coliphage ในตาราง 5 และมีผลการทดลองดังนี้

2.1.2.1 สารอินทรีย์ที่มีผลต่อการคงชีพของ coliphage

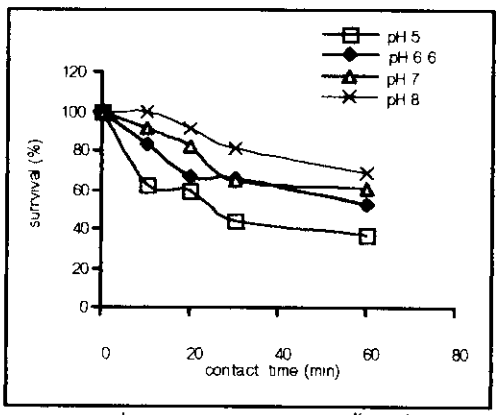
น้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ตั้งแต่ 0(ชุดควบคุม), 20, 50, 100 mg/l พบว่า coliphage มีการเปลี่ยนแปลงดังแสดงในภาพประกอบ 3(a) โดยทุกชุดทดลองมีการเปลี่ยนแปลงของ coliphage เล็กน้อยและไม่แตกต่างกันมาก



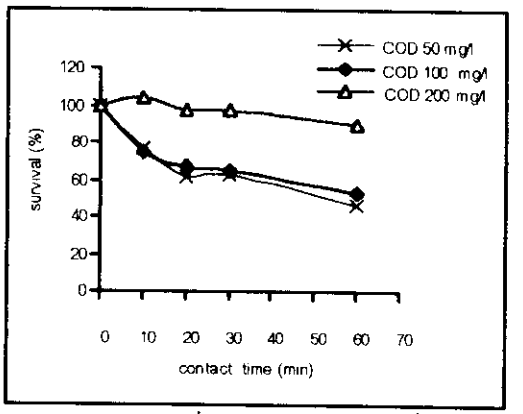
(a) สารอินทรีย์ที่มีผลต่อการคงชีพของ coliphage



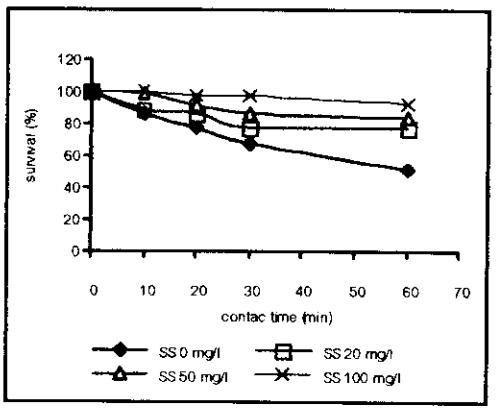
(b) ปริมาณคลอรีนที่มีผลต่อการคงชีพของ coliphage



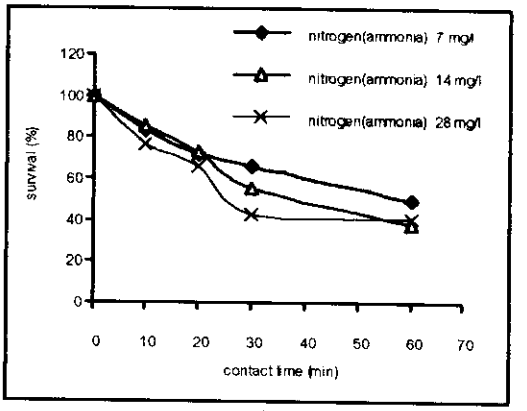
(c) ผลของ pH ที่มีต่อการทำลาย coliphage ในน้ำเสียที่มีการเติมคลอรีนให้มีความเข้มข้น 1.3 mg/l



(d) ผลของสารอินทรีย์ที่มีต่อการทำลาย coliphage ในน้ำเสียที่มีการเติมคลอรีนให้มีความเข้มข้น 1.3 mg/l



(e) ผลของตะกอนแขวนลอยที่มีต่อการทำลาย coliphage ในน้ำเสียที่มีการเติมคลอรีนให้มีความเข้มข้น 1.3 mg/l



(f) ผลของแอมโมเนียไนโตรเจนที่มีต่อการทำลาย coliphage ในน้ำเสียที่มีการ เติมคลอรีนให้มีความเข้มข้น 1.3 mg/l

ภาพประกอบ 3 (a),(b),(c),(d),(e),(f) แสดงการเปลี่ยนแปลง coliphage ในน้ำเสียสังเคราะห์จากปัจจัยการทดลองต่าง ๆ

2.1.2.2 ความเข้มข้นของคลอรีนที่มีผลต่อการทำลาย coliphage

coliphage ในน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ ประมาณ 100 mg/l หลังจากผ่านการเติมคลอรีนให้น้ำเสียมีความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม), 1, 1.3, 1.5 และ 2 mg/l พบว่า coliphage มีการเปลี่ยนแปลงดังแสดงในภาพประกอบ 3(b) น้ำเสียที่มีการเติมคลอรีนมากสุด (2 mg/l) มีแนวโน้มลดลงของ coliphage สูงสุด ในขณะที่น้ำเสียไม่เติมคลอรีน มีแนวโน้มลดลงต่ำที่สุด สำหรับน้ำเสียที่มีการเติมคลอรีน 1, 1.3, และ 1.5 mg/l มีแนวโน้มของการลดลงเพิ่มตามปริมาณของคลอรีนในน้ำเสีย ซึ่งพิจารณาได้จากค่า k จากสมการ (6) และ เปอร์เซ็นต์การลดลงของ coliphage ดังแสดงในตาราง 5 โดยพบว่ามีค่า k เท่ากับ 0.0067, 0.014, 0.0174 และ 0.0199 นาที$^{-1}$ ในน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของของคลอรีน 1, 1.3, 1.5 และ 2 mg/l ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การลดลงของ coliphage ในเวลา 30 นาที พบว่า ในชุดทดลองที่มีการเติมคลอรีนให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 0, 1, 1.3, 1.5 และ 2 mg/l coliphage มีเปอร์เซ็นต์การลดลงเท่ากับ 15.12, 36, 35.83 และ 40.91 % ตามลำดับ ซึ่งถึงแม้ว่าชุดทดลองที่มีการเติมคลอรีนให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 1.5 mg/l จะมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของ coliphage ต่ำกว่าชุดทดลองที่มีความเข้มข้นของคลอรีน 1.3 mg/l เล็กน้อย แต่เมื่อพิจารณาค่าคงที่และแนวโน้มการลดลงของ coliphage แล้วพบว่ามีค่ามากกว่าและมีแนวโน้มการลดลงของ coliphage มากกว่าชุดทดลองที่มีการเติมคลอรีนให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 1.3 mg/l

2.1.2.3 ผลของ pH ที่มีต่อการทำลาย coliphage ด้วยคลอรีน

น้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ประมาณ 100 mg/l ที่มี pH 5, 6.6 (ชุดควบคุม), 7 และ 8 หลังจากผ่านการเติมคลอรีนให้มีความเข้มข้น 1.3 mg/l พบว่า coliphage มีการเปลี่ยนแปลงดังแสดงในภาพประกอบ 3(c) โดยชุดทดลองที่มี pH ต่ำมีแนวโน้มลดลงของ coliphageมากกว่าชุดทดลองที่มี pH สูง โดยพิจารณาได้จากค่า k จากสมการ (6) และ เปอร์เซ็นต์การลดลงของ coliphage พบว่า ในน้ำเสียที่มีค่าpH ต่ำ (pH 5) มีค่า k สูงสุด โดยมีค่า k เท่ากับ 0.0282 นาที$^{-1}$ ในขณะที่น้ำเสียที่มี pH 8 มีค่า k ต่ำสุด โดยมีค่า k เท่ากับ 0.0058 นาที$^{-1}$ และในน้ำเสียที่มี pH 6.6 และ 7 มีค่า k เท่ากับ 0.0169 และ 0.0127 นาที$^{-1}$ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การลดลงของ coliphage พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การลดลงเท่ากับ 55.45, 34.17, 35.00 และ 19.17 % ตามลำดับ ในช่วง 30 นาที

2.1.2.4 ผลของปริมาณสารอินทรีย์ที่มีผลต่อการทำลาย coliphage ด้วยคลอรีน

coliphage ในน้ำเสียที่มีระดับสารอินทรีย์ 50, 100 (ชุดควบคุม) และ 200 mg/l เมื่อนำไปเติมคลอรีนให้มีความเข้มข้น 1.3 mg/l พบว่า coliphage มีการเปลี่ยนแปลงดังแสดงในภาพประกอบ 3(d) ทุกชุดทดลองมีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อย แต่ coliphage ในน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ในปริมาณต่ำมีการลดลงของ coliphage สูงสุด โดยพิจารณาได้จากค่า k จากสมการ (6) และ เปอร์เซ็นต์การลดลงของ coliphage โดย coliphage ในน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ในปริมาณต่ำมีค่า k เท่ากับ 0.0187 นาที$^{-1}$ ในช่วง 30 นาที ในขณะที่น้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ 100 และ 200 mg/l มีค่า k เท่ากับ 0.0169 และ 0.0007 นาที$^{-1}$ตามลำดับ ในช่วง 30 นาที และเมื่อพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การลดลงของ coliphage พบว่ามีการลดลง 37.08, 35.00 และ 2.53 % ในน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ 50, 100 และ 200 mg/l ตามลำดับ ในช่วง 30 นาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำเสียที่มีปริมาณสารอินทรีย์ต่ำมีผลต่อการทำลาย coliphage ได้มากกว่าน้ำเสียที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูง

2.1.2.5 ปริมาณตะกอนแขวนลอยที่มีผลต่อการทำลาย coliphage ด้วยคลอรีน

coliphage ที่มีระดับสารอินทรีย์ประมาณ 100 mg/l และมีตะกอนแขวนลอย 0 (ชุดควบคุม), 20, 50 และ 100 mg/l เมื่อนำไปเติมคลอรีนให้มีความเข้มข้น 1.3 mg/l พบว่า coliphage มีการเปลี่ยนแปลงดังแสดงในภาพประกอบ 3(e) โดยทุกชุดทดลอง coliphage มีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อย แต่มีต่างกัน กล่าวคือ น้ำเสียที่ไม่มีตะกอนแขวนลอยจะมีการลดลงของ coliphage มากที่สุด โดยพิจารณาได้จากค่า k จากสมการ (6) และ เปอร์เซ็นต์การลดลงของ coliphage โดย coliphage ในน้ำเสียที่มีตะกอนแขวนลอย 0 (ชุดควบคุม), 20, 50 และ 100 mg/l มีค่า k เท่ากับ 0.0134, 0.0083, 0.0047 และ 0.0008 นาที$^{-1}$ ตามลำดับ ในช่วง 30 นาที และเมื่อพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การลดลงของ coliphage ในช่วง 30 นาที พบว่ามีการลดลงเท่ากับ 32.97, 22.06, 14.10, 2.30 % ในน้ำเสียที่มีตะกอนแขวนลอย 0 (ชุดควบคุม), 20, 50 และ 100 mg/l ตามลำดับ

2.1.2.6 ผลของแอมโมเนียไนโตรเจนที่มีผลต่อการทำลาย coliphage ด้วยคลอรีน

coliphage ในน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ประมาณ 100 mg/l มีแอมโมเนียไนโตรเจน 7, 14 และ 28 mg/l หลังจากนำไปเติมคลอรีนให้มีความเข้มข้น 1.3 mg/l พบว่า coliphage มีการเปลี่ยนแปลงดังแสดงในภาพประกอบ 3(f) โดยทุกชุดทดลอง coliphage มีแนวโน้มลดลง กล่าวคือ coliphage ในน้ำเสียที่มีแอมโมเนียไนโตรเจนสูง (28 mg/l) และปานกลาง

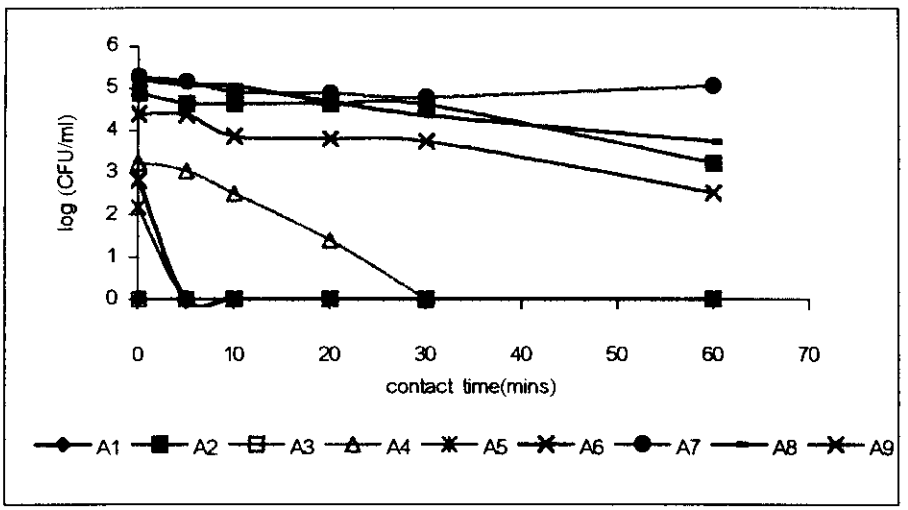
(14 mg/l) มีแนวโน้มการลดลงของ coliphage สูงกว่าน้ำเสียที่มีแอมโมเนียไนโตรเจนต่ำ (7 mg/l) โดยพิจารณาได้จากค่า k จากสมการ (6) และ เปอร์เซ็นต์การลดลงของ coliphage พบว่า มีค่า k เท่ากับ 0.0149, 0.0184 และ 0.0264 นาที$^{-1}$ในช่วง 30 นาที สำหรับแอมโมเนียไนโตรเจน 7, 14 และ 28 mg/l ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การลดลงของ coliphage ในช่วง 30 นาที พบว่ามีการลดลงเท่ากับ 57 .81, 44.44 และ 33.80%ในน้ำเสียที่มีแอมโมเนียไนโตรเจน 28, 14 และ 7 mg/l ตามลำดับ

2.2 น้ำเสียโรงพยาบาล

2.2.1 *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$

น้ำเสียของโรงพยาบาลที่ออกจากบ่อตกตะกอนก่อนเข้าสู่บ่อเติมคลอรีน นำมาทำการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของแบคทีเรียภายใต้เงื่อนไขที่ได้แสดงในตาราง 3 และได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางภาคผนวก 3 และ ภาพประกอบ 4 โดยน้ำตัวอย่างที่นำมาทำการศึกษามีลักษณะสมบัติต่าง ๆ คือ มีค่า pH 3.31 มีปริมาณสารอินทรีย์ในเทอม COD 46.56 mg/l มีตะกอนแขวนลอย 19 mg/l แอมโมเนียไนโตรเจน 0.5 mg/l และไม่พบคลอรีนตกค้าง นอกจากนี้ยังไม่พบ fecal coliform (ชุดทดลอง A1) จากการวิเคราะห์ปริมาณ fecal coliform ในน้ำเสียตัวอย่างด้วยวิธี direct plating และเมื่อนำตัวอย่างน้ำเสียมาทำการศึกษาถึงเปลี่ยนแปลง *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ โดยทำการเติม *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ให้มีความเข้มข้นประมาณ 10^5 CFU/ml ในชุดทดลอง A2-A9 พบว่า *E.coli* K12 F^+ (A/λ) มีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันไป โดยชุดทดลอง A2 (ไม่เติมคลอรีน) *E.coli* K12 F^+ (A/λ) มีการลดลงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับชุดทดลอง A3 ที่มีการเติมคลออรีนให้มีความเข้นข้นของคลอรีนเท่ากับ 1.3 mg/l ซึ่งไม่สามารถตรวจพบโคโลนีของ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ได้เลยตั้งแต่เวลาเริ่มต้น

เมื่อนำน้ำตัวอย่างไปเติมปริมาณสารอินทรีย์ให้มีประมาณ 2 เท่าของน้ำตัวอย่าง พร้อมกับเติมคลอรีนให้มีความเข้มข้น 1.3 mg/l (ชุดทดลอง A4) พบ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ จำนวน $1.7X10^3$ CFU/ml ในเวลาเริ่มต้น และ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ จะลดลงจนไม่สามารถตรวจพบโคโลนีของ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ได้ในช่วง 30 นาที ในขณะที่ตัวอย่างน้ำที่มีตะกอนแขวนลอยประมาณ 2 เท่าของน้ำตัวอย่าง และเติมคลอรีนให้มีความเข้มข้น 1.3 mg/l (ชุดทดลอง A5) พบ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ จำนวน $1.5X10^2$ CFU/ml ในเวลาเริ่มต้นและไม่สามารถพบโคโลนีของ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ได้ในช่วง 5 นาที เช่นเดียวกับตัวอย่างน้ำที่มีแอมโมเนียไนโตรเจนเพิ่ม



ภาพประกอบ 4 การเปลี่ยนแปลง *E.coli* K-12, F^+(A/λ) ในน้ำเสียโรงพยาบาลจากปัจจัยการทดลองต่าง ๆ

โดย A1 = น้ำเสีย

A2 = น้ำเสียที่เติม *E.coli* K-12, F^+(A/λ)

A3 = น้ำเสียที่เติม *E.coli* K-12, F^+(A/λ) และเติมคลอรีน

A4 = เพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ 2 เท่า เติม *E.coli* K-12, F^+(A/λ) และคลอรีน

A5 = เพิ่มตะกอนแขวนลอย 2 เท่า เติม *E.coli* K-12, F^+(A/λ) และคลอรีน

A6 = เพิ่มแอมโมเนียไนโตรเจน 10 เท่า เติม *E.coli* K-12, F^+(A/λ) และคลอรีน

A7 = น้ำเสียที่มี pH 6.6 เติม *E.coli* K-12, F^+(A/λ) แต่ไม่เติมคลอรีน

A8 = น้ำเสียที่มี pH 6.6 เติม *E.coli* K-12, F^+(A/λ) และคลอรีน

A9 = น้ำเสียที่มี pH 8 เติม *E.coli* K-12, F^+(A/λ) และคลอรีน

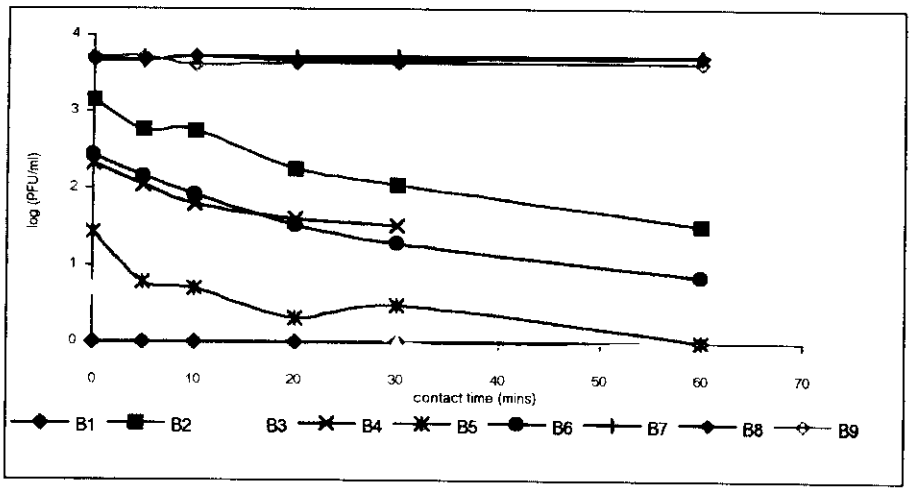
ขึ้นประมาณ 10 เท่าของน้ำตัวอย่าง และ มีการเติมคลอรีนให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 1.3 mg/l (ชุดทดลอง A6) ซึ่งพบว่าในช่วง 5 นาที ไม่สามารถพบโคโลนีของ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ โดยพบ *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ จำนวน 6.6 $X10^2$ CFU/ml ในเวลาเริ่มต้น

จากตัวอย่างน้ำที่มีความเป็นกรดสูง (pH ต่ำ) เมื่อนำตัวอย่างน้ำไปปรับpH ให้ตัวอย่างมีความเป็นกรดน้อยลงและมีความเป็นกลางมากยิ่งขึ้น เมื่อปรับ pH ได้ค่า pH 6.6 แล้วนำไปเติม *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ในปริมาณเท่ากับที่ได้กล่าวมาข้างต้นแต่ไม่เติมคลอรีน (ชุดทดลอง A7) พบว่า *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ขณะที่ตัวอย่างน้ำที่มีค่า pH 6.6 ทำการเติม *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ และคลอรีน (ชุดทดลอง A8) *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย และเมื่อปรับ pH ให้น้ำมีความเป็นด่างมากขึ้น โดยที่น้ำมี pH 8 (ชุดทดลอง A9) เมื่อเติมคลอรีน พบว่า *E.coli* K-12, $F^+(A/\lambda)$ มีแนวโน้มลดลงมากกว่า ชุดทดลอง A8 ที่มีค่า pH 6.63

2.2.2 **Qβ coliphage**

ตัวอย่างน้ำที่นำมาศึกษาการคงชีพและการทำลาย Qβ coliphage ด้วยคลอรีน พบว่ามีลักษณะสมบัติต่าง ๆ คือ มีค่า pH 3.31 มีปริมาณสารอินทรีย์ในเทอม COD 56.4 mg/l มีตะกอนแขวนลอย 38 mg/l แอมโมเนียไนโตรเจน 0.6 mg/l ไม่พบคลอรีนเหลือตกค้าง และไม่พบ coliphage (ชุดทดลอง B1) เมื่อนำตัวอย่างน้ำไปเติม Qβ coliphage .ให้มีความเข้มข้นประมาณ 10^3 PFU/ml ทุกชุดทดลอง (B2-B9) แล้วนำไปทดลองการเปลี่ยนแปลงของ coliphage ในสภาวะต่าง ๆ ดังแสดงในตาราง 3 และผลการทดลองดังแสดงในตารางภาคผนวก 4 และภาพประกอบ 5 โดยพบว่า coliphage ในชุดทดลองที่ไม่มีการเติมคลอรีน (B2) coliphage มีการลดลงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับชุดทดลอง B3 ที่มีการเติมคลอรีนให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 1.3 mg/l ซึ่งพบ coliphage จำนวน 5 PFU/ml ในเวลาเริ่มต้น ในขณะที่ชุดทดลอง B2 ยังพบจำนวน coliphage 1.4 X 10^3 PFU/ml ตั้งแต่เวลาเริ่มต้น และในช่วงเวลา 30 นาที พบ coliphage จำนวน 1 และ 1.1 X 10^2 PFU/ml ในชุดทดลอง B3 และ B2 ตามลำดับ

เมื่อนำน้ำตัวอย่างไปเติมปริมาณสารอินทรีย์ให้มีประมาณ 2 เท่าของน้ำตัวอย่าง พร้อมทั้งเติมคลอรีนให้มีความเข้มข้น 1.3 mg/l (ชุดทดลอง B4) พบ coliphage จำนวน 2.1$X10^2$ PFU/ml ในเวลาเริ่มต้น และลดลงจนเหลือจำนวน 3.3 X10 PFU/ml ในช่วง 30 นาที ในขณะที่ชุดทดลอง B5 ที่มีตะกอนแขวนลอยประมาณ 2 เท่าของน้ำตัวอย่าง และเติมคลอรีนให้มีความเข้มข้น 1.3 mg/l พบ coliphage จำนวน 2.7X10 PFU/ml ในเวลาเริ่มต้นและมีการลดลงของ coliphage โดยพบ coliphage จำนวน 3 PFU/ml ในช่วง 30 นาที และเมื่อตัวอย่างน้ำที่มี



ภาพประกอบ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลง coliphage ในน้ำเสียโรงพยาบาลจากปัจจัยการทดลองต่าง ๆ

โดย B1 = น้ำเสีย

B2 = น้ำเสียที่เติม coliphage

B3 = น้ำเสียที่เติม coliphage และเติมคลอรีน

B4 = เพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ 2 เท่า เติม coliphage และคลอรีน

B5 = เพิ่มตะกอนแขวนลอย 2 เท่า เติม coliphage และคลอรีน

B6 = เพิ่มแอมโมเนียไนโตรเจน 10 เท่า เติม coliphage และคลอรีน

B7 = น้ำเสียที่มี pH 6.6 เติม coliphage แต่ไม่เติมคลอรีน

B8 = น้ำเสียที่มี pH 6.6 เติม coliphage และคลอรีน

B9 = น้ำเสียที่มี pH 8 เติม coliphage และคลอรีน

แอมโมเนียไนโตรเจนเพิ่มขึ้นประมาณ 10 เท่าของน้ำตัวอย่าง (ชุดทดลอง B6) พบ coliphage จำนวน2.7X10^2 PFU/ml ในช่วงเริ่มต้น และมีการลดลงของ coliphage โดยพบ coliphage จำนวน 7 PFU/ml ในช่วง 30 นาที

จากตัวอย่างน้ำที่มีความเป็นกรดสูง (pH ต่ำ) เมื่อนำตัวอย่างน้ำไปปรับ pH ให้ตัวอย่างมีความเป็นกรดน้อยลงและมีความเป็นกลางมากยิ่งขึ้น โดยมีค่า pH ของน้ำตัวอย่างเท่ากับ 6.6 พบว่า ในชุดทดลอง B7(ไม่เติมคลอรีน) และชุดทดลอง B8 (เติมคลอรีนให้มีความเข้มข้น 1.3 mg/l) ปริมาณของ coliphage ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ขณะเดียวกันเมื่อปรับ pH น้ำให้มีความเป็นด่างมากขึ้น โดยน้ำตัวอย่างมีค่า pH 8 และนำไปเติมคลอรีน (ชุดทดลอง B9) พบว่า coliphage ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก เช่นเดียวกับชุดทดลอง B7 และ B8