ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม — **สาขา**

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม — **ภาควิชา**

เรื่อง การกำจัดจุลินทรีย์ในน้ำทิ้งชุมชนที่ผ่านการบำบัดโดยระบบตัวกลางแขวนลอยร่วมกับเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น

Removals of Microorganisms in Treated Domestic Wastewater by Floating Media in Coupled with Ultrafiltration System

นามผู้วิจัย นางสาวชลันดา เสมสายัณห์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์วิไล เจียมไชยศรี, D.Tech.Sc)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ชาติ เจียมไชยศรี, D.Eng)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ชาติ เจียมไชยศรี, D.Eng.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การกำจัดจุลินทรีย์ในน้ำทิ้งชุมชนที่ผ่านการบำบัดโดยระบบตัวกลางแขวนลอยร่วมกับเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น

Removals of Microorganisms in Treated Domestic Wastewater by Floating Media in Coupled with Ultrafiltration System

โดย

นางสาวชลันดา เสมสายัณห์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2556

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ชลันดา เสมสายัณห์ 2556: การกำจัดจุลินทรีย์ในน้ำทิ้งชุมชนที่ผ่านการบำบัดโดยระบบตัวกลางแขวนลอยร่วมกับเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์วิไล เจียมไชยศรี, D.Tech.Sc. 138 หน้า

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพของระบบกรองต่างๆในการกำจัดโคลิฟอร์มทั้งหมด (total coliform) ฟีคัลโคลิฟอร์ม (fecal coliform) และโคลิฟาจ (coliphage) ในน้ำทิ้งชุมชนที่ผ่านการบำบัด และ ประเมินความเสี่ยงของเชื้ออีโคไลก่อโรคทางเดินอาหาร (diarrheagenic *E.coli*) จากการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ ผลการศึกษาพบว่า คุณภาพน้ำทางเคมีที่ผ่านระบบกรองต่างๆจัดอยู่ในเกณฑ์ที่ดี อย่างไรก็ตามคุณภาพน้ำทางจุลชีววิทยาของระบบต่างๆมีความแตกต่างกันมาก โดยระบบตัวกลางแขวนลอยร่วมกับเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น และระบบเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นโดยตรงมีประสิทธิภาพในการกำจัดโคลิฟอร์มทั้งหมด ฟีคัลโคลิฟอร์ม และโคลิฟาจ ได้สูงถึงร้อยละ 90-99 ที่อัตราการกรอง 0.6 m^3/m^2 – d เดินระบบ 6 และ 24 ชั่วโมง สำหรับระบบตัวกลางแขวนลอยมีประสิทธิภาพรองลงมาในการกำจัดแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด ฟีคัลโคลิฟอร์ม และโคลิฟาจ ร้อยละ 50, 40 และ 64 ตามลำดับที่อัตราการกรอง 15 m^3/m^2 – h เดินระบบ 6 ชั่วโมง และเมื่อเดินระบบที่ 24 ชั่วโมง การกำจัดจุลินทรีย์ดังกล่าวเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 56, 60 และ78 ตามลำดับ ส่วนระบบทรายกรองที่อัตราการกรอง 5 m^3/m^2 – h ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด ฟีคัลโคลิฟอร์ม และโคลิฟาจ เท่ากับร้อยละ 26, 32 และ 49 ตามลำดับ และผลจากการประเมินความเสี่ยงในการเกิดโรค โดยใช้โมเดล Exponential และโมเดล Beta Poisson ของเชื้อ *E.coli* ก่อโรค พบว่า น้ำที่ออกจากระบบตัวกลางแขวนลอยและระบบทรายกรองเท่านั้นที่ให้ความเสี่ยงในการก่อโรคทางเดินระบบอาหาร โดย มีค่าความเสี่ยง > 1/10,000

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Chalanda Semsayun 2013: Removals of Microorganisms in Treated Domestic Wastewater by Floating Media in Coupled with Ultrafiltration System. Master of Engineering (Environmental Engineering), Major Field: Environmental Engineering, Department of Environmental Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Wilai Chiemchaisri, D.Tech.Sc. 138 pages.

This study aims to investigate the performance of the filtering systems in removals of total coliforms (TC), fecal coliforms (FC) and coliphages (CP) in treated domestic wastewater. Beside microbial risk assessment of diarrheagenic *E. coli* in reuse of filtrated effluent was evaluated. It was found that chemical effluent qualities of all filtering systems were considered in good standing based on standard of water reuse. However, microorganisms removals were largely different among filtering systems. The floating media filter in coupled with ultrafilter membrane and ultrafilter membrane only gave high TC, FC and CP removal efficiencies in range of 90 to 99 % of 0.6 m^3/m^2 - d at 6 and 24 h operation. The floating media filter (FMF) 6 h, 15 $m^3/m^2.h$ operation gave FC ,TC and CP removals of 50 % ,40 % and 64 % respectively, and when extended the operation to 24 h, better efficiencies of 78% CP, 60% FC and 56% TC removals were achieved. For sand filter (SF) at 5 $m^3/m^2.h$, 6 h, it gave consistently in performance over an operational period, and effectively in removals of TC, FC and CP equivalent to 26%, 32% and 49%, respectively. Finally, the results of risk assessment of diarrheagenic *E. coli* disease using the Beta Poisson and Exponential models reveals that only the effluents of the FMF and SF could give the risk in enterogenic poisoning > 1/10, 000.

_____ _____ ___ / ___ / __

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร. วิไล เจียมไชยศรี ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร. ชาติ เจียมไชยศรี กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำแนะนำและกำลังใจที่ดียิ่งตั้งแต่เริ่มต้นดำเนินงาน ตลอดจนการให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ ขอกราบขอบพระคุณดร. พัชราพร อิทธิสุขนันท์ ประธานการสอบ และ รศ.ดร. สุธา ขาวเธียร ผู้ทรงคุณวุฒิในการสอบ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนจากโครงการศึกษาความเหมาะสมของการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดกลับมาใช้ประโยชน์ของกรุงเทพมหานครและเจ้าหน้าที่ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยนี้ ตลอดจนอำนวยความสะดวกด้านสถานที่และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัยจนสำเร็จด้วยดี

ขอขอบคุณ นางสาวสุพัตรา ศรีจิ๋ว นางสาวกาญจนา ทุยเวียง นางสาวอัจฉราภรณ์ จารนัย นางสาวทิวา ผลสิน นายนพรัตน์ พัชนีย์ นางสาววรินธร บุญยโรส นางสาวสิมนัส ตรีเดช นางสาวณัฐฐา แสงนรินทร์ นางสาวเสาวลักษ์ เนาวสาร และตลอดจนพี่ๆ เพื่อนๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลืออนุเคราะห์อุปกรณ์ในการทำวิจัยและให้กำลังใจผู้วิจัยตลอดมา

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการดำเนินงานจนลุล่วง อีกทั้งขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาที่ได้ถ่ายทอดความรู้แก่ผู้วิจัย

สุดท้ายขอขอบคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้กำลังใจ และให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้านและด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่ครอบครัว ครูบาอาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

ชลันดา เสมสายัณห์

พฤษภาคม 2556

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(7)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	42
อุปกรณ์	42
วิธีการ	45
ผลและวิจารณ์	54
สรุปและข้อเสนอแนะ	80
สรุป	80
ข้อเสนอแนะ	83
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	84
ภาคผนวก	91
ภาคผนวก ก ตารางข้อมูลผลการทดลอง	92
ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์ทางเคมีและจุลชีววิทยา	107
ภาคผนวก ค อุปกรณ์การวิเคราะห์และขั้นตอนการวิเคราะห์	122
ภาคผนวก ง กราฟมาตรฐาน	128
ภาคผนวก จ การคำนวณความเสี่ยงของเชื้อ *E.coli* และ biomass ของระบบตัวกลางแขวนลอย ระบบตัวกลางแขวนลอยร่วมกับเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น และเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น	130
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	138

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ที่สามารถนำมาใช้เพื่อการอุปโภคบริโภค และการเกษตร (อ้างอิง ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 พ.ศ. 2537 เรื่อง การกำหนดมาตรฐานน้ำผิวดิน	8
2	มาตรฐานน้ำทิ้งสำหรับการเกษตรของประเทศสหรัฐอเมริกา	9
3	มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งเพื่อกลับมาใช้ประโยชน์ของออสเตรเลีย	11
4	มาตรฐานคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ของญี่ปุ่น	12
5	USEPA ได้กำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ ในกิจกรรมต่างๆ	12
6	ตัวอย่างจุลินทรีย์ก่อโรคที่ถูกตรวจวัดในน้ำที่ไม่ผ่านการบำบัดและน้ำเสีย	25
7	ค่าสัมประสิทธิ์ ของเชื้อต่างๆในการประเมินความเสี่ยงของการติดเชื้อ	39
8	ค่าสัมประสิทธิ์ในการประเมินความเสี่ยงของเชื้อก่อโรค	41
9	แสดงวิธีวิเคราะห์ที่ใช้ในการตรวจวัดดัชนีต่างๆในการทดลอง	52
10	ผลเฉลี่ยการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี ตลอดระยะเวลา 4 เดือน (6 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง)	63
11	Group specific ที่ใช้ในการทดสอบซีโรวิทยาของ polyvalent Ⅰ Ⅱ และⅢ (O and K)	75
12	แสดงจำนวน positive และ negative การตกตะกอนที่เกิดขึ้นในน้ำเข้าระบบ (n = 20 colony)	76
13	แสดงจำนวน positive และ negative การตกตะกอนที่เกิดขึ้นในน้ำผ่านระบบทรายกรอง (n = 12 colony)	77
14	แสดงจำนวน positive และ negative การตกตะกอนที่เกิดขึ้นในน้ำผ่านระบบตัวกลางแขวนลอย (n = 16 colony)	78
15	ค่าความเสี่ยงของเชื้อ *E.coli*	79

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก1	คุณภาพน้ำทางเคมีของน้ำออกจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ กรุงเทพมหานคร	93
ก2	คุณภาพน้ำทางเคมีของน้ำออกจากระบบทรายกรอง	94
ก3	คุณภาพน้ำทางเคมีของน้ำออกจากระบบตัวกลางแขวนลอย	95
ก4	คุณภาพน้ำทางเคมีของน้ำออกจากระบบตัวกลางแขวนลอย ร่วมกับเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น	96
ก5	คุณภาพน้ำทางเคมีของน้ำออกจากระบบเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น	97
ก6	ปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์ม (CFU/100 ml) ของน้ำออกจากระบบบำบัดโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ กรุงเทพมหานคร ตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายน	98
ก7	ปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์ม (CFU/100 ml) ของน้ำออกจากระบบตัวกลางแขวนลอย ตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายน	98
ก8	ปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์ม (CFU/100 ml) น้ำออกจากระบบทรายกรอง ตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายน	99
ก9	ปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมด (CFU/100 ml) ของน้ำออกจากระบบบำบัดของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ กรุงเทพมหานคร ตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายน	99
ก10	ปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมด (CFU/100 ml) ของน้ำออกระบบตัวกลางแขวนลอย ตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายน	100
ก11	ปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมด (CFU/100 ml) ของน้ำออกจากระบบทรายกรอง ตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายน	100
ก12	ปริมาณโคลิฟาจ (PFU/ ml) ในน้ำออกจากระบบบำบัด ตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายน	101
ก13	ปริมาณโคลิฟาจ (PFU/ml) ของน้ำออกระบบตัวกลางแขวนลอยตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายน	101

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ก14 ปริมาณโคลิฟาจ (PFU/ml) ของน้ำออกจากระบบทรายกรอง ตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายน 102

ก15 ผลการทดสอบ *E.coli* (O&K) Polyvalent Antisera โดยอาศัยการตกตะกอน (Agglutination) ของเชื้อกับ Antiserum ของน้ำเข้าระบบ 103

ก16 ผลการทดสอบ *E.coli* (O&K) Polyvalent Antisera โดยอาศัยการตกตะกอน (Agglutination) ของเชื้อกับ Antiserum ของน้ำออกจากระบบทรายกรอง 104

ก17 ผลการทดสอบ *E.coli* (O&K) Polyvalent Antisera โดยอาศัยการตกตะกอน (Agglutination) ของเชื้อกับ Antiserum ของน้ำออกจากระบบตัวกลางแขวนลอย 105

ก18 สัดส่วนของสารละลายอัลคาไลน์ ซิเตรท และสารละลายโซเดียมไฮโปคลอ - ไรท์ ในการเตรียมสารละลายออกซิไดส์ซิงค์ (Oxidizing solution) 106

ก19 ค่าสัมประสิทธิ์ของโมเดล Exponential และ Beta Poisson ของเชื้อ *E.coli* ก่อโรค 106

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กลไกในการกำจัดสารแขวนลอยของอนุภาคตัวกรอง	17
2	ลักษณะการกรองของเยื่อกรองเมมเบรน	21
3	การแบ่งระดับการกรอง	22
4	ลักษณะสัณฐานวิทยาทั่วไปของ Bacteriophage	31
5	รูปร่างลักษณะ order และ families ของ major phage group	32
6	วงจรการเพิ่มจำนวนแบบ lytic cycle	34
7	ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงทางจุลินทรีย์	37
8	แบบจำลองถังตัวกลางลอย (a) และทรายกรอง (b)	44
9	แผนผังการวิจัย	47
10	แผนภาพแสดงการทดลองระบบกรอง	50
11	ผลของการกำจัดแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดและฟีคัลโคลิฟอร์มในระบบทรายกรอง	66
12	ผลของการกำจัดโคลิฟาจในระบบทรายกรอง	67
13	ผลของการกำจัดแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดและฟีคัลโคลิฟอร์มในระบบตัวกลางแขวนลอย ที่อัตราการกรอง 15 m^3/m^2- h เดินระบบ 6 ชั่วโมง	68
14	ผลของการกำจัดโคลิฟาจในระบบตัวกลางแขวนลอยอัตราการกรอง 15 m^3/m^2- h เดินระบบ 6 ชั่วโมง	69
15	ผลของการกำจัดแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดและฟีคัลโคลิฟอร์มในระบบตัวกลางแขวนลอย เดินระบบ 24 ชั่วโมงเทียบกับ 6 ชั่วโมง	70
16	ผลของการการกำจัดโคลิฟาจในระบบตัวกลางแขวนลอยเดินระบบ24 ชั่วโมงเทียบกับ 6 ชั่วโมง	71
17	ผลของการกำจัดแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มและฟีคัลโคลิฟอร์มและโคลิฟาจที่ระดับความลึกในระบบตัวกลางแขวนลอย อัตราการกรอง 15 m^3/m^2- h	73

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่ **หน้า**

ค1	อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มด้วยวิธีเยื่อกรอง (Membrane Filtration)	123
ค2	จำนวนโคโลนีของ *E.coli* ที่เกิดขึ้นบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Chromocult โคโลนีมีลักษณะสีน้ำเงิน	123
ค3	ขั้นตอนการนำเชื้อออกมาเพาะเลี้ยง	124
ค4	Plaque ที่เกิดขึ้นบน Nutrient agar	124
ค5	*E.coli* (O&K) Polyvalent Antiserum	125
ค6	นำเชื้อมาทดสอบกับน้ำเกลือ (Normal saline) เพื่อตรวจสอบชนิด smooth colony หรือ rough colony	125
ค7	ขั้นตอนการทดสอบ Serological	126
ค8	ผลการเกิด Agglutination ก) ภาพด้านบน : ให้ผล negative ข) ภาพด้านล่าง : ให้ผล positive	127
ง1	กราฟมาตรฐานไนเตรท โดยวิธีบรูซีน	129

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

TC	=	โคลิฟอร์มทั้งหมด (total coliform)
FC	=	ฟีคัลโคลิฟอร์ม (fecal coliform)
CP	=	โคลิฟาจ (coliphage)
E.coli	=	อีโคไล (*Escherichia coli*)
Enterobacter spp.	=	*Enterobacter* subspecies
MPN	=	Most probable number
CFU	=	Colony-forming unit
PFU	=	Plaque-forming unit
FMF	=	ระบบตัวกลางแขวนลอย (Floating media filter)
FMF + UF	=	ระบบตัวกลางแขวนลอยร่วมกับเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น Floating media filter with Ultrafiltration Membrane
UF	=	เยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น (Ultrafiltration Membrane)
SF	=	ระบบทรายกรอง (Sand Filtration)
SS	=	สารแขวนลอย (Suspended solids)
TOC	=	Total organic carbon
TN	=	Total nitrogen

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การกำจัดจุลินทรีย์ในน้ำทิ้งชุมชนที่ผ่านการบำบัดโดยระบบตัวกลางแขวนลอยร่วมกับเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น

Removals of Microorganisms in Treated Domestic Wastewater by Floating Media in Coupled with Ultrafiltration System

คำนำ

ปัญหาน้ำเสียเป็นปัญหาที่สำคัญเริ่มทวีความรุนแรงมากขึ้น และเกิดผลกระทบโดยตรงต่อมนุษย์เป็นอย่างมาก เนื่องจากน้ำเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญในการดำรงชีวิต ทั้งในการอุปโภคและบริโภค ปัจจุบันจึงได้ให้ความสำคัญของการใช้ทรัพยากรน้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุด (ประสิทธิ์, 2554) การนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดและมีคุณภาพที่ดีกลับมาใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่างๆที่เหมาะสมกับคุณภาพของน้ำ เป็นทางเลือกหนึ่งในการจัดการทรัพยากรน้ำ เช่น การนำน้ำมาใช้เพื่อการเกษตร การอัดน้ำกลับลงใต้ดิน การนำน้ำกลับมาใช้ในการอุปโภค และบริโภค เป็นต้น อย่างไรก็ตามการใช้น้ำที่ได้ผ่านการบำบัดมาใช้ในการอุปโภคและบริโภคนั้น อาจยังไม่เป็นที่ยอมรับของประชาชน ยังมีข้อสงสัยเกี่ยวกับคุณภาพของน้ำที่ได้รับการบำบัดว่ามีคุณภาพ สะอาดเพียงพอ และมีปัญหาเกี่ยวกับเชื้อโรค หรือไม่ รวมทั้งปัญหาเรื่องสีของน้ำซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของน้ำที่ผ่านการบำบัด รวมทั้งปัญหาด้านความรู้สึกของผู้ใช้น้ำ (องค์การจัดการน้ำเสีย, 2544)

ดังนั้นในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นในการตรวจหาปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมด ฟีคัลโคลิฟอร์ม (total coliform and fecal coliform) และโคลิฟาจ (coliphage)ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์และน้ำจากกระบวนการกรองของระบบต่างๆคือ ระบบตัวกลางแขวนลอย ระบบตัวกลางแขวนลอยร่วมกับระบบเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น ระบบเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น เปรียบเทียบกับระบบทรายกรองซึ่งเป็นระบบดั้งเดิม นอกจากนี้ทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำให้ครอบคุลมตามมาตรฐานน้ำทิ้งเพื่อนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ รวมทั้งการประเมินความเสี่ยงในการเกิดโรคต่อคน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเลือกระบบที่บำบัดและนำน้ำกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมด ฟีคัลโคลิฟอร์ม (total coliform and fecal coliform) และโคลิฟาจ (coliphage) ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดโดยระบบตัวกลางแขวนลอย ระบบตัวกลางแขวนลอยร่วมกับเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น ระบบเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น และระบบทรายกรอง

2. เพื่อประเมินความเสี่ยงของเชื้ออีโคไลก่อโรคทางเดินอาหาร (Diarrheal diseases) ที่จะมีผลต่อสุขภาพ ในการนำน้ำกลับมาใช้ในกิจกรรมต่างๆ

ขอบเขตการวิจัย

1. ในการศึกษาวิจัยนี้ใช้น้ำตัวอย่างจากน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการบำบัดของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ กรุงเทพมหานคร

2. ศึกษาคุณภาพน้ำเข้าระบบและออกจากระบบ ทำการวิเคราะห์ดัชนีดังต่อไปนี้

2.1 ทางด้านกายภาพและเคมีได้แก่ สี ความขุ่น ความเป็นกรด-ด่าง สภาพการนำไฟฟ้าของแข็งแขวนลอย ออกซิเจนละลายน้ำ ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด ไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนียและไนเตรท

2.2 ทางจุลชีววิทยา ได้แก่ การวิเคราะห์แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด ฟีคัลโคลิฟอร์ม (total coliform and fecal coliform) และโคลิฟาจ (coliphage)

3. ศึกษาคุณสมบัติทางชีวเคมีและทางซีโรวิทยา (IMVic Test and serological characters) รวมทั้งการประเมินความเสี่ยงของเชื้อ *E.coli* ก่อโรคที่มีผลต่อสุขภาพในการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่

4. ระบบตัวกลางแขวนลอย ระบบตัวกลางแขวนลอยร่วมกับระบบเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น ระบบเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นและระบบทรายกรองใช้เป็นขนาดห้องปฏิบัติการ (Lab –scale)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการบำบัดน้ำเสียชุมชนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ ตั้งอยู่ที่ตลาดบ้านพานถม เขตพระนคร โดยมีพื้นที่บริการประมาณ 4.142 ตารางกิโลเมตร ซึ่งเป็นพื้นที่เขตพระนครทั้งหมด ตัวอาคารโรงควบคุมคุณภาพน้ำ 6,683 ตารางเมตร ตัวอาคารโรงควบคุมคุณภาพเป็นอาคารสูง 22 เมตร ลึกสุด 11.79 เมตร โดยมีกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบ ตะกอนเร่งแบบสองขั้นตอน (Two – Stage Activated Sludge Process) ความสามารถในการบำบัดน้ำเสีย 40,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน การไหลของน้ำเป็นการสูบน้ำเสียขึ้นไปยังตำแหน่งสูงสุด แล้วปล่อยให้น้ำไหลเข้าระบบบำบัดโดยแรงโน้มถ่วงของโลก (ประสิทธิ์, 2554)

รูปแบบระบบบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์

ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ แบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ การบำบัดขั้นแรก (Primary Treatment) การบำบัดขั้นที่สอง (Secondary Treatment)และการกำจัดตะกอนส่วนเกิน (Excess Sludge Treatment) หลักการทำงานมีดังต่อไปนี้

1. การบำบัดขั้นแรก (Primary Treatment) เป็นการกำจัดสารมลพิษออกจากน้ำเสียด้วยกระบวนการทางกายภาพ (Physical Treatment) น้ำเสียทั้งหมดจะไหลผ่านเครื่องดักขยะอัตโนมัติชนิดตะแกรงหยาบ (Mechanical Coarse Screen) เพื่อดักขยะขนาดใหญ่ออกและไหลไปเข้าสู่บ่อสูบน้ำเสีย (Pumping Station) ซึ่งอยู่ในระดับใต้ดิน จากนั้นเครื่องสูบน้ำจะส่งน้ำเสียผ่านเครื่องดักขยะอัตโนมัติชนิดตะแกรงละเอียด (Mechanical Fine Screen) เพื่อดักขยะที่มีขนาดเล็กออกก่อนแล้วจึงไหลไปเข้าสู่ถังแยกกรวดทรายออกจากน้ำเสีย (Aerated Grit Chamber) โดยน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการนี้เป็นเพียงการบำบัดเบื้องต้นเท่านั้น ยังคงมีสารอินทรีย์อยู่ในน้ำเสีย จึงต้องส่งต่อไปบำบัดในกระบวนการต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สำหรับขยะที่ถูกดักไว้โดยเครื่องดักขยะอัตโนมัติตะแกรงหยาบ (Mechanical Coarse Screen) และเครื่องดักขยะอัตโนมัติชนิดตะแกรงละเอียด (Mechanical Fine Screen) นั้นจะถูกส่งไปยังสายพานลำเลียง (Belt Conveyor) เพื่อลำเลียงไปยังเครื่องอัดขยะ (Screw Compactor) เพื่ออัดให้ขยะมีปริมาตรเล็กลงจึงนำขยะไปกำจัดต่อไป (ประสิทธิ์, 2554)

กรวดทรายที่ถูกแยกออกจากน้ำเสียจะตกตะกอนที่ก้นบ่อดักกรวดทราย (Aerated Grit Chamber) ซึ่งจะถูกกวาดมารวมอยู่ที่บ่อรวบรวม (Sump) และจะถูกสูบออกไปยังถังล้างทราย (Sand Washing Tank) โดยปั๊ม (Air Lift Pump) กรวดทรายที่ถูกล้างจะถูกส่งไปยังถังรวบรวม (Container) เพื่อนำไปกำจัด ส่วนน้ำที่ล้างกรวดทรายจะถูกส่งไปยังบ่อสูบน้ำเพื่อนำไปบำบัดต่อไป สำหรับเครื่องดักตะกอนจุลินทรีย์ชนิดเส้นใย ทำหน้าที่ดักตะกอนที่ออกจากถังตกตะกอนขั้นแรก (Intermediate Clarifier Tank) โดยตะกอนเส้นใยที่ดักไว้จะถูกส่งไปกำจัดต่อไป

2. การบำบัดขั้นที่สอง (Secondary Treatment) เป็นการบำบัดด้วยกระบวนทางชีววิทยาเพื่อลดมลพิษซึ่งส่วนใหญ่เหลืออยู่ในรูปของสารอินทรีย์ออกจากน้ำเสีย สำหรับโครงการนี้ได้ถูกออกแบบโดยใช้การตกตะกอนเร่งแบบสองขั้นตอน เพราะเป็นเทคโนโลยีที่พิสูจน์ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบตะกอนเร่งธรรมดา มีความคล่องตัวในการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงสภาพการทำงานได้ดีที่สุดและมีความสามารถในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้

ขั้นตอนแรก ประกอบด้วย การเติมอากาศขั้นแรก (First Stage Aeration) และการตกตะกอนเบื้องต้น (Intermediate Clarifier) โดยออกแบบให้ถังเติมอากาศขั้นแรกทำงานแบบอัตราสูง (High Rate) ออกแบบที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5 กก.บีโอดี/กก.ปริมาณจุลชีพ.วัน ซึ่งเติมอากาศในระยะเวลาที่สั้นมาก และสามารถลดบีโอดีได้ถึงร้อยละ 50-70 โดยให้จุลินทรีย์ทำลายสารอินทรีย์และสารมลพิษอื่นๆแล้วจะมีสารมลพิษที่เหลืออยู่เป็นปริมาณน้อยมาก สามารถแยกจุลินทรีย์ออกจากน้ำโดยการตกตะกอนเบื้องต้น โดยตะกอนส่วนหนึ่งจะหมุนเวียนกลับไปยังถังเติมอากาศ และอีกส่วนหนึ่งซึ่งเป็นตะกอนส่วนเกินจะถูกส่งไปยังระบบกำจัดตะกอน สำหรับน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะถูกส่งไปยังขั้นตอนที่สองต่อไป

ขั้นตอนที่สอง ประกอบด้วยการเติมอากาศขั้นที่สอง (Secondary Stage Aeration) และการตกตะกอนขั้นสุดท้าย (Final Clarifier) โดยควบคุมการทำงานของถังเติมอากาศขั้นที่สองให้เป็นแบบการเติมอากาศแบบขยาย (Extended Aeration) ออกแบบภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.33 กก.บีโอดี/กก.ปริมาณจุลชีพ.วัน โดยแบ่งถังเติมอากาศออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่มีการเติมอากาศและส่วน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ที่ไม่มีการเติมอากาศ (Oxic/Anoxic Zone) เพื่อให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชั่น/ดีไนตริฟิเคชั่น (Nitrification / Denitrification) ที่กำจัดไนโตรเจนจากนั้นน้ำที่ผ่านการเติมอากาศขั้นที่สองแล้วจะไหลต่อมายังถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย เพื่อแยกตะกอนออกจากน้ำใส ส่วนของน้ำใสจะถูกปล่อยลงสู่คลองบางลำพู ส่วนของตะกอนจะถูกหมุนเวียนกลับไปยังถังเติมอากาศ อีกส่วนหนึ่งซึ่งเป็นตะกอนส่วนเกินจะถูกส่งไปยังระบบกำจัดตะกอนต่อไป

3. การกำจัดตะกอนส่วนเกิน (Excess Sludge Treatment) ตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกินเป็นผลจากการที่จุลินทรีย์ใช้สารอาหารที่มีอยู่ในน้ำเสียเป็นอาหารแล้วเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนมากขึ้น ดังนั้น ในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียต้องมีการควบคุมความสมดุลของอาหาร (สารมลพิษหรือสารอินทรีย์ในน้ำเสีย) และจำนวนจุลินทรีย์ โดยการนำตะกอนจุลินทรีย์ส่วนที่เพิ่มขึ้นนี้ไปกำจัดอย่างต่อเนื่อง

ตะกอนส่วนเกินจะถูกสูบเข้าไปยังถังเพิ่มความเข้มข้นตะกอน (Sludge Thickener Tank) เพื่อลดปริมาตรตะกอนให้น้อยลงแล้วสูบเข้าไปยังเครื่องรีดน้ำออกจากตะกอน (Sludge Cake) ซึ่งจะขนส่งไปทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในตะกอนต่อไปในถังย่อยสลายตะกอน (Sludge Digestion Tank) ณ โรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม หรือนำไปทำการถมที่หรือทำปุ๋ยต่อไป(ประสิทธิ์, 2554)

น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัด มีคุณภาพที่ดีและผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งสามารถนำน้ำมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากกว่าการปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ซึ่งไม่คุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายที่เสียในการบำบัดน้ำแต่ละครั้ง รูปแบบของการนำน้ำไปใช้ประโยชน์มีหลายรูปแบบตามวัตถุประสงค์และความเหมาะสมของคุณภาพของน้ำที่นำไปใช้ เช่น ใช้เพื่อการเกษตร ใช้เพื่อรดน้ำต้นไม้ เป็นต้น เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีการกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ แต่มีหลักเกณฑ์คร่าวๆในการพิจารณาคุณลักษณะของน้ำที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. เกณฑ์ทั่วไป

1.1 ความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์ (Protection of Human Health)

จัดเป็นเกณฑ์ที่มีความสำคัญมากที่สุดที่ต้องคำนึงถึงอันดับแรก ไม่ว่าน้ำที่นำกลับมาใช้นั้นจะผ่านกระบวนการใดก็ตาม และที่สำคัญ คือ จะต้องไม่มีจุลินทรีย์ เชื้อโรค หรือสารพิษ ที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ (องค์การจัดการน้ำเสีย, 2544)

1.2 ระบบบำบัดเฉพาะ (Specific Process)

เป็นเกณฑ์ที่นำมาพิจารณาถึงความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียเพื่อให้ได้คุณภาพของน้ำเหมาะสมกับกิจกรรมที่จะนำไปใช้ซึ่งจะต้องมีการวิเคราะห์รายละเอียดในแต่ละขั้นตอนรวมทั้งประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัด พิจารณาถึงความเป็นไปได้ในการเพิ่ม หรือประยุกต์ระบบบำบัด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด และควบคุมคุณภาพน้ำให้ได้ตามที่ต้องการ

2. ดัชนีชี้วัด

2.1 สี กลิ่น และความขุ่น

ปัจจัยเบื้องต้นที่จะใช้ในประเมินคุณภาพน้ำที่จะนำกลับมาใช้เพราะสามารถรับรู้ได้ง่ายด้วยประสาทสัมผัส สำหรับค่ามาตรฐานของสี กลิ่นและความขุ่นนั้น ไม่มีตัวเลขที่แน่นอน เพียงแต่สีและกลิ่นของน้ำไม่เป็นที่น่ารังเกียจ ตลอดจนไม่มีความขุ่นจนเห็นได้ชัด

2.2 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิของน้ำที่จะนำกลับมาใช้ควรมีค่าอยู่ในช่วงปกติตามแต่ละพื้นที่และกิจกรรมนั้นๆแต่จะมีค่าเปลี่ยนมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับรูปแบบของกิจกรรม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.3 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ระดับความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่จะนำไปใช้ในกิจกรรมทั่วๆไป ควรมีค่าอยู่ในช่วง 5-9 แต่ในบางกิจกรรมอาจมีค่าพีเอชสูงหรือต่ำกว่า ขึ้นกับวัตถุประสงค์ในการนำน้ำไปใช้

2.4 โคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด (Total Coliform Bacteria)

เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำทางจุลินทรีย์ที่มีความสำคัญ เนื่องจากเกี่ยวข้องกับสุขภาพอนามัยของมนุษย์ โดยใช้โคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมดเป็นดัชนีวัดแทนดัชนีจุลินทรีย์ก่อโรค (Pathogenic Bacteria) วิธีวิเคราะห์ทำโดยการตรวจหาปริมาณของโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมดในน้ำที่กำหนดขึ้นว่าจะนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ประโยชน์ เช่นน้ำในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 (น้ำใช้สำหรับการเกษตร) ควรมีค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมดไม่เกิน 20,000 เอ็มพีเอ็น/100 มิลลิลิตร เป็นต้น

2.5 ค่าความสกปรกสารอินทรีย์ในรูปบีโอดี (BOD)

ค่าความสกปรกบ่งบอกถึงคุณภาพของน้ำว่ามีคุณภาพเพียงพอที่จะนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้หรือไม่และสามารถนำมาใช้ในกิจกรรมใด ค่ามาตรฐานของน้ำทิ้งกำหนดให้มีค่าบีโอดีไม่เกิน 20 มิลลิกรัม/ลิตร

2.6 ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO)

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงคุณภาพของน้ำ ซึ่งโดยปกติน้ำเสียจะมีค่าออกซิเจนละลายน้ำต่ำมากการกำหนดค่าออกซิเจนละลายน้ำของน้ำขึ้นอยู่กับกิจกรรมที่จะนำน้ำไปใช้

2.7 ค่าความเค็ม ขึ้นอยู่กับรูปแบบของกิจกรรมที่จะนำน้ำมาใช้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เกณฑ์พิจารณาคุณลักษณะของน้ำที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ดังกล่าว เป็นเกณฑ์ในการประเมินการนำน้ำไปใช้ประโยชน์เบื้องต้น ทั้งนี้ยังต้องคำนึงถึงมาตรฐานที่ระบุค่าต่างๆไว้ชัดเจน เพื่อสามารถนำน้ำไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เช่น ใช้ในการเกษตรต้องอาศัยเกณฑ์มาตรฐานของแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ที่สามารถนำมาใช้เพื่อการอุปโภคบริโภคเมื่อมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนหรือนำมาใช้ในการเกษตรได้โดยตรงไม่จำเป็นต้องปรับปรุงคุณภาพน้ำ (วิไล, 2550) แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ที่สามารถนำมาใช้เพื่อการอุปโภคบริโภคและการเกษตร (อ้างอิง ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 พ.ศ. 2537 เรื่อง กำหนดมาตรฐานน้ำผิวดิน)

ระดับปริมาณสูงสุดไม่เกิน	สารประกอบที่ปรากฏอยู่ในน้ำ		
	มิลลิกรัม/ลิตร	ไมโครกรัม/ลิตร	หน่วยอื่นๆ
เป็นไปตามธรรมชาติ	-	-	สี กลิ่น และรสอุณหภูมิ ***
0.002	ปรอททั้งหมด	-	-
0.005	ฟีนอล,ไซยาไนด์, แคดเมียม[1]	-	-
0.001	สารหนู	-	-
0.02	-	แอลฟาบีเอชซี	
0.05	แคดเมียม[2],ตะกั่ว, โครเมียม, ค่ารวมสารกำจัดศัตรูพืช	-	-
0.1	ทองแดง, นิเกล	อัลดริน, ดิลดริน	รังสีเอลฟา*
0.2	-	เฮปตาคลอร์, เฮปตาคลอร์อีปอกไซด์	
0.5	แอมโมเนีย	-	-
1	แมงกานีส, สังกะสี	ดีดีที	รังสีเบต้า*
2	บีโอดี	-	-
4	ออกซิเจนละลายน้ำ	-	-

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ระดับปริมาณ	สารประกอบที่ปรากฏอยู่ในน้ำ		
สูงสุดไม่เกิน	มิลลิกรัม/ลิตร	ไมโครกรัม/ลิตร	หน่วยอื่นๆ
5	ไนเตรท	-	-
อยู่ในช่วง 5 – 9	-	-	ความเป็นกรด – ด่าง
4,000	-	-	ฟีคัลโคลิฟอร์ม**
20,000	-	-	โคลิฟอร์มทั้งหมด**

หมายเหตุ: เบเคอเรล/ลิตร **เอ็มพีเอ็น/100 มิลลิลิตร *** องศาเซลเซียส
สี กลิ่นและรส ความเป็นกรดด่างหมายถึงไม่มีหน่วย
1. ในน้ำที่มีความกระด้างในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต ไม่เกินกว่า 100 มก./ลิตร
2. ในน้ำที่มีความกระด้างในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต เกินกว่า 100 มก./ลิตร
3. โครเมียมเฮกซาวาเลนท์

ที่มา: วิไล (2550)

ประเทศสหรัฐอเมริกาได้มีกฎหมายที่กำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งสำหรับการเกษตร ในดินที่มีลักษณะที่เหมาะสมต่อการทิ้งลงไปของน้ำเสียชุมชนที่ยังไม่ผ่านการบำบัดแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 มาตรฐานน้ำทิ้งสำหรับการเกษตรของประเทศสหรัฐอเมริกา

ปัจจัย	ความเข้มข้น (มก./ล.)
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ	500 -2,000
ค่าบีโอดี5	20
ฟีคัลโคลิฟอร์ม	1,000 เอ็มพีเอ็น/100มล.
ค่าพีเอช	6 - 9
น้ำมัน (oil)	0
สารฟีนอล	50

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ปัจจัย	ความเข้มข้น (มก./ล.)
สารอะลูมิเนียม	0.1
สารหนู	0.75
สารโบรอน	0.01
สารแคดเมียม	250 – 1,000
สารคลอไรด์	0.1
สารโคบอลต์	0.05
สารทองแดง	0.2
สารฟลูออไรด์	1.0
สารเหล็ก	5.0
สารตะกั่ว	5.0
สารลิเทียม	2.5
สรแมงกานีส	0.2
สารโมลิบดีนัม	0.1
สารนิเกล	0.2
สารซีลิเนียม	0.02
สารซัลเฟต	200
สารวาเนเดียม	0.1
สารสังกะสี	2.0

ที่มา : ไพศาล (2541)

นอกจากนี้ยังมีมาตรฐานน้ำทิ้งเพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆในต่างประเทศโดยกำหนดคุณลักษณะของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ประโยชน์คือ เกณฑ์ทางชีวภาพ และเกณฑ์ทางเคมีหรือกายภาพ (นพรัตน์, 2554) ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. ประเทศออสเตรเลีย

ตารางที่ 3 มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งเพื่อกลับมาใช้ประโยชน์ของออสเตรเลีย

พารามิเตอร์	การจัดระดับน้ำที่ผ่านการบำบัดมาใช้ประโยชน์			
	A	B	C	D
โคลิฟอร์ม (Coliform,*E.coli*/100 ml)	< 10	< 100	< 1,000	< 10,000
การกำจัดไวรัสโปรโตรซัว และไข่พยาธิ	จำเป็น	จำเป็น	จำเป็น	เฉพาะไข่พยาธิ
ความขุ่น (NTU)	≤ 2	-	-	-
บีโอดี (mg BOD/l)	< 20	< 20	< 20	-
ของแข็งแขวนลอย (mg SS/l)	< 30	< 30	< 30	-

หมายเหตุ: A: น้ำที่ผ่านการบำบัดขั้นที่ 2 เต็มรูปแบบ รวมทั้งผ่านการกรองและฆ่าเชื้อโรค

B: น้ำที่ผ่านการบำบัดขั้นที่ 2 เต็มรูปแบบ รวมทั้งผ่านการฆ่าเชื้อโรค

C: น้ำที่ผ่านการบำบัดโดยการตกตะกอนขั้นต้นและผ่านบ่อผึ่ง หรือบำบัดขั้นที่ 2 อาจใช้การฆ่าเชื้อเพื่อให้ผ่านลักษณะสมบัติทางชีวภาพ

D: น้ำที่ผ่านการบำบัดโดยการตกตะกอนขั้นต้นและผ่านบ่อผึ่ง หรือบำบัดขั้นที่ 2

ที่มา:นพรัตน์ (2554)

2. ประเทศญี่ปุ่น

กำหนดเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งเป็น 2 ระดับ คือ น้ำที่ผ่านการบำบัดเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ที่คนไม่สัมผัส และน้ำทิ้งเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ที่เป็นไปได้ในการสัมผัส ดังแสดงในตารางที่4

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 มาตรฐานคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ของญี่ปุ่น

พารามิเตอร์	การจัดระดับน้ำที่ผ่านการบำบัดมาใช้ประโยชน์	
	ไม่สัมผัส	เป็นไปได้ในการสัมผัส
โคลิฟอร์มทั้งหมด (CFU/100 ml)	$\leq$ 1,000	$\leq$ 50
บีโอดี (mg /l)	$\leq$ 10	$\leq$ 3
พีเอช	5.8 - 8.6	5.8 - 8.6
ความขุ่น (NTU)	$\leq$ 10	$\leq$ 5
กลิ่น	ไม่มีกลิ่นเหม็น	ไม่มีกลิ่นเหม็น
สี	$\leq$ 40	$\leq$ 10

ที่มา: นพรัตน์(2554)

ตารางที่ 5 USEPA ได้กำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่างๆ

ประเภทของการนำมาใช้ประโยชน์	ฟีคัลโคลิฟอร์ม / 100 ml
การใช้ในครัวเรือน	ตรวจไม่พบ
การชลประทาน	< 200
การเกษตรเพื่อบริโภค	ตรวจไม่พบ
การเกษตรเพื่อการค้า	< 200
การเกษตรเพื่ออาหารสัตว์	< 200

ที่มา: นพรัตน์(2554)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมาใช้ประโยชน์ใหม่

ปัจจุบันในประเทศไทยเริ่มมีการนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบของกิจกรรมต่างๆภายในนิคมอุตสาหกรรมและในเขตเทศบาล รวมทั้งโรงควบคุมคุณภาพน้ำในเขตกรุงเทพมหานครเองก็ตามอาทิเช่น

1. นิคมอุตสาหกรรม จังหวัดชลบุรี มีการนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมารดน้ำต้นไม้ สนามหญ้า และล้างถนนในบริเวณนิคมอุตสาหกรรมเอง

2. ในเขตประกอบการอุตสาหกรรมเอสไอแอล จังหวัดสระบุรี ได้ทำการบำบัดน้ำเสียส่วนกลางและนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมารดน้ำต้นไม้ สนามหญ้า นอกจากนี้ยังจำหน่ายน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดและมีคุณภาพที่เข้ากับมาตรฐานน้ำทิ้งเพื่อการเกษตร ประเภทน้ำเกรด 2 ให้แก่ผู้ประกอบการในเขตอุตสาหกรรมในราคาที่ถูกกว่าน้ำดิบ

3. ในเขตอุตสาหกรรมบางปะอิน จังหวัดอยุธยา ได้ทำการบำบัดน้ำเสียส่วนกลางและนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมาพักในบ่อบำบัดแบบธรรมชาติ (Polishing pond)จากนั้นจึงปล่อยน้ำใสสู่คลองธรรมชาติรอบๆนิคม 11 วันต่อมาน้ำดังกล่าวสามารถนำไปใช้ล้างถนน บ่มคอนกรีต รดน้ำต้นไม้ และสนามหญ้าในนิคม (สุบัณฑิต, 2548)

4. เทศบาลตำบลแสนสุข ได้นำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้ในกิจกรรมของเทศบาล เช่น รดน้ำต้นไม้ ล้างตลาด ดับเพลิง และใช้เพื่อการเกษตร เป็นต้น

โรงควบคุมคุณภาพน้ำทางกรุงเทพมหานครได้ใช้ประโยชน์จากน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดของโรงควบคุมคุณภาพน้ำ เช่น โรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยาและโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี โดยนำกลับมาใช้ประโยชน์ภายในโรงควบคุมคุณภาพน้ำ ได้แก่ เป็นน้ำฉีดล้างเครื่องจักรอุปกรณ์ เช่น ตะแกรงดักขยะ ถังดักกรวดทราย เครื่องรีดตะกอนและอื่น ๆ รวมทั้งใช้เป็นน้ำรดต้นไม้และสนามหญ้าภายในโรงควบคุมคุณภาพน้ำ (สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำกลุ่มงานโครงการและจัดการตะกอน, 2552)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา ได้นำน้ำที่บำบัดแล้วมาใช้เป็นน้ำล้างชักโครกในห้องน้ำ ด้วยนอกจากนี้ยังได้ประสานงานกับสำนักงานเขตและสำนักงานสวนสาธารณะ เพื่อนำไปรดน้ำต้นไม้ตามข้างทางและสวนสาธารณะ (สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำกลุ่มงานโครงการและจัดการตะกอน, 2552)

ถึงแม้ประเทศไทยได้มีการตื่นตัวในการนำน้ำกลับมาใช้ประโยชน์มากขึ้น เช่น ทางด้านการเกษตร ใช้เติมน้ำกลับใต้ดิน ใช้รดน้ำต้นไม้ สนามหญ้า ใช้เพื่อการอุปโภค และนำกลับมาใช้ใหม่ในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น แต่ยังไม่มีมาตรฐานที่กำหนดคุณลักษณะหรือกฎเกณฑ์ใดๆ ออกมาระบุถึงค่าต่างๆที่บ่งบอกถึงการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ โดยเฉพาะ ต้องอาศัยมาตรฐานจากต่างประเทศหรือมาตรฐานที่ประเทศไทยมีอยู่มาเปรียบเทียบถึงความเป็นเป็นไปได้ในการนำน้ำไปใช้ประโยชน์ในด้านนั้นๆ

ขณะเดียวกันต่างประเทศได้ให้ความสนใจอย่างมากในการนำน้ำกลับไปใช้ใหม่ เช่น ประเทศสเปน ประเทศอิสราเอล ประเทศออสเตรเลีย (Tchobanoglous *et al.,* 2003)

ประเทศญี่ปุ่น มีการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียเคลื่อนที่ (On Site Treatment) เพื่อนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ประโยชน์ติดตั้งในที่ที่มีความต้องการ เช่น ในโรงเรียน อาคารสำนักงาน หอประชุม โรงแรมและ ศูนย์การค้า เป็นต้น(องค์การจัดการน้ำเสีย, 2544)

ประเทศสิงคโปร์ น้ำเสียที่ได้รับการบำบัดแล้วจะถูกทิ้งลงสู่ทะเลและมีการนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วบางส่วนกลับมาใช้โดยมีท่อดักน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจากโรงบำบัดฯ นำน้ำเข้าสู่ขั้นตอนการกรองและเติมคลอรีน แล้วส่งน้ำดังกล่าวไปใช้ในอุตสาหกรรมและใช้เป็นน้ำชักโครกให้กับอาคารที่อยู่บริเวณใกล้เคียง(องค์การจัดการน้ำเสีย, 2544)

การกรอง

การกรอง (Filtration) คือ การกำจัดตะกอนความขุ่นและจุลินทรีย์ต่างๆที่ติดค้างอยู่ในน้ำให้หมดไปหรือเหลืออยู่น้อยที่สุดโดยใช้วัสดุที่มีความพรุนหรือช่องเปิดที่มีขนาดเล็กกว่าอนุภาคนั้นๆ เมื่อใช้วัสดุกรองน้ำ อนุภาคจะถูกดักอยู่บนชั้นวัสดุกรองทำให้น้ำมีอนุภาคลดลง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การกรองด้วยถังทรายกรองช้า (Slow sand filtration)

การกรองของถังทรายกรองช้าอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกโดยการปล่อยน้ำดิบให้ไหลผ่านชั้นกรอง (Filter medium) ระหว่างที่ไหลผ่านจะมีการลดปริมาณของแบคทีเรียสารแขวนลอยและความขุ่นนอกจากนั้นยังเกิดกระบวนการทางชีวเคมี (Biochemical process) ขึ้นที่บริเวณผิวของชั้นกรองโดยที่หลังจากการใช้งานของระบบถังทรายกรองช้าผ่านไปเป็นระยะเวลาพอสมควรจะเกิดชั้นบางๆของจุลินทรีย์ขึ้นที่ผิวของประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่ยังคงมีกิจกรรมและมีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ (กัมปนาท, 2543)

Huisman (1982) ได้รายงานถึงกลไกการกรองของถังทรายกรองช้าเป็นการทำงานแบบผสมผสานระหว่างกลไกต่างๆโดยมีกลไกที่สำคัญประกอบด้วย 5 กลไกหลักคือ

1. กลไกการกรองแบบกรองเชิงกล (Mechanical straining)

กลไกการกรองอนุภาคแขวนลอยซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าช่องว่างระหว่างสารกรองเพื่อให้สารแขวนลอยติดค้างอยู่ภายในชั้นกรองระหว่างการไหลผ่านโดยปกติชั้นของทรายกรองที่มีขนาดช่องว่างระหว่างเม็ดทรายที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.15 mm. สามารถกำจัดสารแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่กว่า 20 μmหลังจากผ่านไประยะหนึ่งจะมีการติดค้างของสารแขวนลอยจนทำให้ช่องว่างระหว่างทรายกรองมีขนาดเล็กลงจากเดิมทำให้สารแขวนลอยขนาด 5-10 μmบางส่วนติดค้างอยู่ระหว่างทรายกรองได้อย่างไรก็ตามสารแขวนลอยเช่นคอลลอยด์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.001-1μm ก็ยังไม่สามารถถูกกำจัดออกด้วยกลไกนี้

2. กลไกการกรองแบบตกตะกอน (Sedimentation)

การกำจัดอนุภาคแขวนลอยที่มีขนาดเล็ก และสามารถตกตะกอนที่ผิวของสารกรอง กลไกลนี้มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของมวลสารกับพื้นที่ผิวของสารกรอง โดยที่สารแขวนลอยขนาดใหญ่จะถูกกำจัดที่ผิวบนของชั้นทรายกรองและสารแขวนลอยความหนาแน่นของมวลต่ำจะตกค้างที่ผิวของทรายกรองในชั้นที่ลึกลงไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. กลไกการกรองแบบการชน (Impaction)

เป็นกลไกการกำจัดอนุภาคแขวนลอยที่สามารถตกตะกอนที่ผิวของสารกรองเกิดขึ้นจากการที่อนุภาควิ่งเข้าชนสารกรองแล้วติดที่ตัวของสารกรองมีความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของสารแขวนลอยกับระยะเวลาการชน

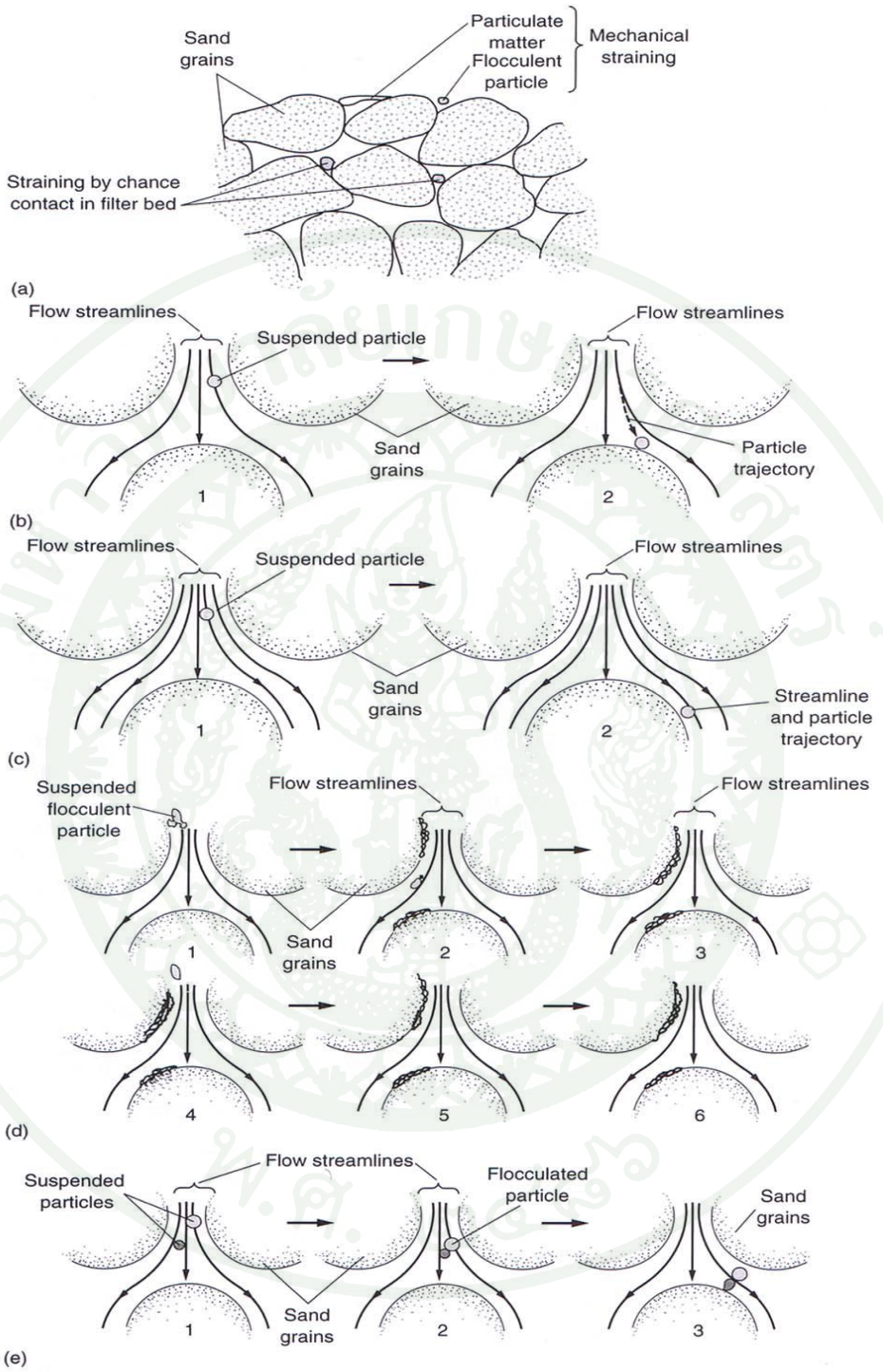
4. กลไกการกรองแบบดูดติดผิว (Adsorption)

กลไกที่มีความสำคัญในระบบการกรองเนื่องจากสามารถกำจัดสารแขวนลอยขนาดเล็กๆเช่น สารคอลลอยด์ กลไกแบบดูดติดผิวนี้อาจเกิดขึ้นได้หลายลักษณะ คือ เมื่อน้ำดิบไหลผ่านชั้นกรองสารแขวนลอยขนาดเล็กๆที่สัมผัสกับผิวของเม็ดทรายกรองจะเกาะติดเป็นเมือกเหนียวรอบอนุภาคของทรายกรองอาศัยแรงดึงดูดระหว่างอนุภาค (London-vander Waals forces) และแรงดึงดูดเนื่องจากประจุไฟฟ้า (Coulomb forces) โดยปกติทรายกรองที่สะอาดจะมีประจุบวกที่ผิวของเม็ดทรายซึ่งพร้อมที่จะดูดติดกับคอลลอยด์ที่ประจุลบได้

5. กลไกการกรองทางชีวเคมี

สารแขวนลอยต่างๆที่สะสมอยู่ภายในชั้นกรองจนเป็นเหตุให้เกิดการอุดตันของชั้นกรองนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีอยู่ตลอดเวลาการเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีนี้จะเกิดขึ้นและดำเนินไปอย่างช้าๆ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 1 กลไกในการกำจัดสารแขวนลอยของอนุภาคตัวกรอง

ที่มา: Metcalf and Eddy (2003)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระบบทรายกรองช้าสามารถกำจัดจุลินทรีย์ก่อโรคได้ โดยไม่จำเป็นต้องผ่านกระบวนการบำบัดเบื้องต้น (Coagulation Pretreatment) ในกรณีที่น้ำดิบมีความเข้มข้นของสารแขวนลอย หรือสาหร่ายสูง สามารถใช้กระบวนการทางกายภาพ เช่น การกรองแบบหยาบ เพื่อป้องกันตัวกรองอุดตันและดูแลรักษาตัวกรองให้มีระยะเวลาในการใช้งานได้นาน

ในรายงานวิจัยของ Ellis (1985) ได้ระบุว่าระบบทรายกรองช้ามีประสิทธิภาพในการกำจัดจุลินทรีย์ประมาณ 90.000 – 99.999 %

การกรองแบบตัวกลางแขวนลอย (floating media filter)

ระบบตัวกลางแขวนลอยถูกพัฒนามาจากกระบวนการกรองสัมผัส (contact– flocculation filtration) และเป็นการกรองเบื้องต้นเพื่อกำจัดอนุภาคคอลลอยด์ในน้ำและกลุ่มของจุลินทรีย์ (Chiemchaisri *et al.,* 2008: Chiemchaisri *et al.,* 2003) การกรองสัมผัสเป็นการรวมตัวกันของอนุภาคในขณะที่สัมผัสกับตัวกลาง(Media) ที่ใช้ในการกรองโดยอาศัยช่องว่างในตัวกลางเป็นส่วนสร้างโอกาสสัมผัสของอนุภาคและขยายขนาดใหญ่ขึ้นจนสามารถถูกกักเก็บไว้ในช่องว่างของตัวกลางเมื่อน้ำไหลผ่านด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกจะชักนำให้กลุ่มอนุภาคที่รวมตัวกันหลุดเข้าไปในชั้นตัวกลางทำให้ประสิทธิภาพของการกรองน้ำขึ้นอยู่กับตัวกลางเป็นปัจจัยหลักตัวกลางมีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อหน่วยปริมาตรสำหรับการสัมผัสและเกาะจับสูงสามารถกำจัดกลุ่มอนุภาคได้ดีแต่ขณะเดียวกันหากมีช่องว่างในสารกรองน้อยส่งผลทำให้มีการอุดตันสูงและมีอายุการกรองที่ต่ำ

O’Melia and Stumm (1969) ได้เสนอแนะว่าหลักการกำจัดสารแขวนลอยในตัวกลางจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของสารแขวนลอยตัวกลางลักษณะทางเคมีของน้ำและอัตราการกรองการกำจัดสารแขวนลอยจะเกิดขึ้นภายในตัวกลางเมื่อมีการทำงานต่อเนื่องกัน 2 กลไกคือ กลไกการเคลื่อนย้าย (Transport Mechanism) ของสารแขวนลอยให้เข้าไปหาสารกรองซึ่งอยู่นิ่งๆและกลไกการทำให้สารแขวนลอยเกาะจับอยู่กับตัวกลางหรือสิ่งที่ติดอยู่บนตัวกลางก่อนแล้ว (Attachment Mechanism)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. กลไกการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยเข้าหาตัวกลาง(Transport Mechanism) แบ่งได้เป็น 2 แบบคือ

1.1 การเคลื่อนที่ตามธรรมชาติของสารที่มีขนาดเล็กกว่า 1 μm เป็นการเคลื่อนที่ระดับโมเลกุลที่เกิดจากการแพร่กระจายแบบราวเนียน (Brownian Diffusion)

1.2 การเคลื่อนที่ตามเส้นทางการไหลของน้ำเป็นการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 μmซึ่งจะเกิดขึ้นได้ในหลายลักษณะคือ

การติดค้าง (Interception) เป็นการเคลื่อนที่ของอนุภาคแขวนลอย เบียดเข้าหาตัวกลางในขณะที่ผ่านช่องว่างของตัวกลางและติดค้างอยู่ในช่องว่างของตัวกลางนั้น

แรงกระทำทางชลพลศาสตร์ (Hydrodynamic Action) เป็นแรงกระทำทางชลพลศาสตร์ส่งผลทำให้อนุภาคแขวนลอยเคลื่อนที่เข้าปะทะกับตัวกลาง

แรงเฉื่อย (Inertia) อนุภาคเคลื่อนที่เข้าหาตัวกลางอาศัยแรงเฉื่อยในอนุภาค

การตกตะกอน (Sedimentation) อนุภาคแขวนลอยขนาดใหญ่จะตกตะกอนในทิศทางที่เคลื่อนที่เข้าหาตัวกลางได้ซึ่งการตกตะกอนเป็นผลมาจากแรงดึงดูดของโลก ทำให้อนุภาคมีความเร็วในการตกตะกอนมากจนสามารถแยกตัวออกจากเส้นทางการไหลของน้ำ

2. กลไกการจับสารแขวนลอย (Attachment Mechanism)

การจับอนุภาคแขวนลอยอาศัยกลไกการเคลื่อนย้ายนำเอาอนุภาคแขวนลอยขนาดเล็กจากเส้นทางน้ำพาเข้าใกล้ผิวหน้าของตัวกลางเมื่ออนุภาคเข้าใกล้ผิวหน้าตัวกลางมากขึ้นหมายถึงอนุภาคแขวนลอยได้ถูกจับเข้ากับตัวกลางแล้ว

ในระหว่างการกรองน้ำหากตัวกลางมีความฝืดหรือเกิดการอุดตันมากขึ้นแรงที่เกิดจากการไหลของน้ำจะมีค่าสูงขึ้นทำให้อนุภาคแขวนลอยที่ติดอยู่บนตัวกลางบางส่วนหลุดออกมาได้ด้วยกลไกที่เรียกว่า Detachment Mechanism กลไกดังกล่าวอาจเกิดขึ้นได้หากมีการเพิ่มอัตราการกรองอย่างกะทันหัน ทำให้น้ำที่กรองได้มีตะกอนขุ่นหรืออาจเกิดเนื่องจากพื้นที่ว่างบนตัวกลางถูก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ใช้ไปจนเกือบหมดทำให้อนุภาคแขวนลอยมีโอกาสเกาะติดบนผิวตัวกลางได้น้อยจึงมีการหลุดของอนุภาคแขวนลอยออกจากตัวกลางเพิ่มขึ้น (สุนทรี, 2550)

Tanaka *et al.* (1995) กล่าวว่า ข้อดีของระบบตัวกลางแขวนลอย คือ การกำจัดสารแขวนลอยได้สูงและสูญเสียความดันในระบบต่ำ

Sundarakumar (1996) กล่าวว่าข้อดีของตัวกลางลอย (Floating MediaFilter) คือง่ายและประหยัดในการล้างย้อนโดยที่ประหยัดน้ำในการล้างย้อน 30% เมื่อเทียบกับตัวกลางชนิดอื่น นอกจากนั้นยังทำให้หมดปัญหาในเรื่องการผสมกันระหว่างตัวกลางหลังการล้างย้อน

Visvanathan *et al.* (1996) ได้ทำการทดลองใช้ตัวกลางลอย (FloatingMedia Filter)โดยใช้เม็ดพลาสติกโพลีโพรพีลีน (Polypropylene) และโพลีสไตลีน (Polystyrene) แทนทรายและแอนทราไซด์พบว่าการใช้ตัวกลางลอยจะส่งผลดีตรงที่สามารถลดความถี่ในการล้างย้อนและใช้ปริมาณน้ำล้างย้อนลดลงลดปัญหาการผสมกันของตัวกลางในระหว่างการล้างย้อนตลอดจนตัวกลางลอยจะมีราคาถูกใช้ง่ายหาง่ายดูแลรักษาง่ายและล้างย้อนง่าย

การกรองด้วยเยื่อกรองเมมเบรน

กระบวนการเมมเบรน (Membrane Process) เป็นกระบวนการทางกายภาพที่อาศัยเยื่อกรอง (Semi-Permeable Membrane) เพื่อแยกอนุภาคและสารแขวนลอยต่างๆ (Simmons *et al.,* 2011) หรือ แยกสาร หรือ เพิ่มความเข้มข้น ทำหน้าที่เป็นตัวกั้นให้มีการผ่านเพียงน้ำ อิออน หรือ โมเลกุลที่มีขนาดเล็กเท่านั้น

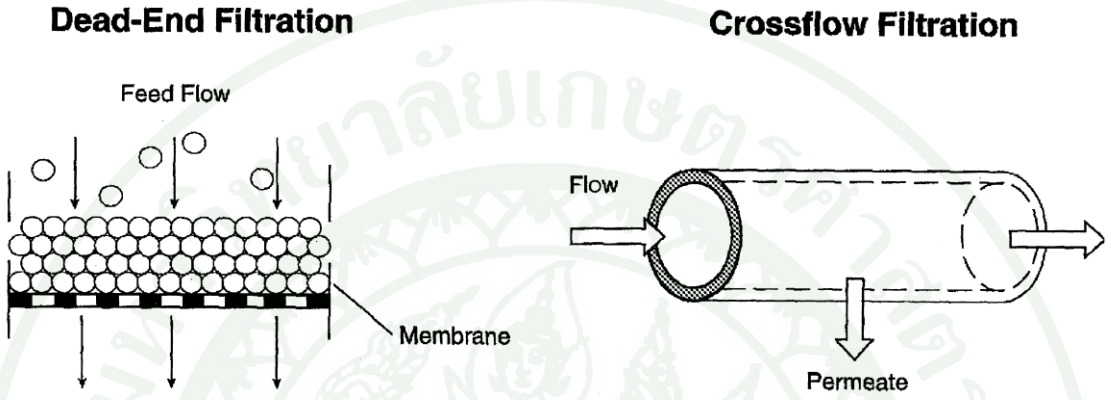
หลักการสำคัญของกระบวนการ คือ ต้องมีแรงดันที่ทำให้สารละลายไหลผ่านเมนเบรนและเกิดการแยก โดยทั่วไปสารละลายจะไหลขนานกับเยื่อกรอง และเกิดการถ่ายเท

หลักการทำงานของเยื่อกรองมี 2 แบบ คือ

1. การกรองแบบ Dead-End เหมาะสำหรับน้ำที่มีความเข้มข้นต่ำมีอนุภาคขนาดเล็กกว่า 0.1 μm การกรองแบบนี้ใช้แรงดันทั้งหมดดันน้ำให้ผ่านช่องเยื่อกรอง อนุภาคบางส่วนติดอยู่บนผิวเยื่อกรองบางส่วนจะหลุดออกไปกับน้ำที่กรองเมื่อเยื่อกรองอุดตันจะต้องทำความสะอาด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. การกรองแบบCrossflowเหมาะสำหรับน้ำที่มีความเข้มข้นสูงมีขนาดอนุภาคในช่วง 0.001–10 μm การกรองแบบนี้ใช้แรงดันบางส่วนดันน้ำให้ผ่านช่องเยื่อกรองและแรงดันที่เหลือทำหน้าที่ในการทำให้น้ำไหลในลักษณะ Tangential กับผิวหน้าเยื่อกรองและกวาดอนุภาคที่ผิวของเยื่อกรองกลับสู่ Bulk Stream



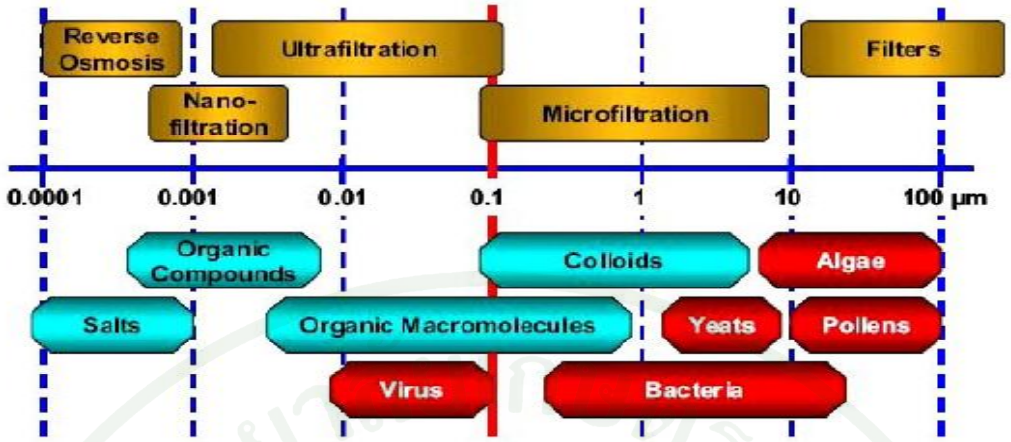
ภาพที่ 2 ลักษณะการกรองของเยื่อกรองเมนเบรน

ที่มา: Mann and Todd (2000)

เยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น (Ultrafiltration Membrane)

เยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นถูกนำมาใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียชุมชนร่วมกับกระบวนการโคแอคกูเลชั่น การตกตะกอน และในระบบเอเอส เนื่องจากมีโครงสร้างของช่องว่าง (pore size) ขนาดเล็กกว่า 0.1μm ซึ่งแน่นกว่าเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชั่น (Ravazzini *et al.,* 2005) และสามารถแยกของแข็งแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่ได้และสารอนุภาคขนาดเล็ก เช่น แบคทีเรีย ไวรัสรวมทั้งสามารถกำจัดสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 500ได้ เช่น โปรตีน แป้ง กรดฮิวมิก และกรดฟัลวิก เป็นต้น (จิตรลดา, 2546) ดังแสดงในภาพที่ 2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 3 การแบ่งระดับการกรอง

ที่มา: สภาอุตสาหกรรม (2553)

เยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นจัดอยู่ในกลุ่มของ low pressure membrane filtration ที่ประสบความสำเร็จในการกำจัดโพรโทซัว แบคทีเรีย และไวรัสเป็นต้น ในการกำจัดไวรัสอาศัยปัจจัยหลายประการ อาทิเช่น คุณสมบัติการกายภาพ-เคมีของไวรัสและตัวของเยื่อกรองเอง ตลอดจนภาระทางชลศาสตร์ของกระบวนการกรอง (Huang *et al.,* 2012) เยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นถือว่ามีประสิทธิภาพมากกว่าเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชั่นในการกำจัดอนุภาคของไวรัส (Arevalo *et al.,* 2009)

การทำงานของเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น คือสารละลายจะผ่านเมมเบรนโดยอาศัยแรงดันทำให้น้ำและสารโมเลกุลขนาดเล็กเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนไปสู่อีกด้านหนึ่งที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า ขณะที่โมเลกุลขนาดใหญ่จะติดค้างอยู่บนเมมเบรน กลไกในการกำจัดสารต่างๆของเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นเป็นการกรองที่ติดค้างอยู่บนรูของเมมเบรน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการใช้ตัวกลางแขวนลอยและตัวกลางที่ร่วมกับระบบกรองอื่นๆ เช่น ระบบทรายกรอง ระบบเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น มีดังนี้

Madeesuksatid (1994) ทดลองใช้เม็ดพลาสติกโพลีสไตลีน (PS) ขนาด 1.1 mm. และเม็ดพลาสติกโพลีโพรพีลีน (PP) ขนาด 2.57 mm. เป็นตัวกลางพบว่าความสูงของตัวกลางที่เหมาะสม คือ PS:PP เท่ากับ 50:60 ซม. ที่อัตราการกรอง 5 m^3/m^2- h

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Ngo and Vigneswaran (1995) ได้ทำการทดลองการกรองสัมผัส 2 ชั้นกรองโดยใช้ตัวกลางหยาบเม็ดพลาสติกโพลีโพรพีลีน (polypropylene) เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.8 mm. และตัวกลางละเอียดทรายขนาดสัมฤทธิ์ 1.7mm. ที่ความลึก 40cm. เท่ากัน พบว่า เม็ดโพลีโพรพิลีนทำหน้าที่เป็นชั้นรวมกลุ่มตะกอนได้ดีมากที่อัตราการกรอง 5-8 m^3/m^2- h

Chiemchaisri *et al* (2011) ระบบถังกรองเม็ดพลาสติกลอยร่วมกับไมโครฟิลเตรชั่นถูกนำไปใช้ในการกำจัดจุลินทรีย์จากแหล่งน้ำผิวดิน ทำการศึกษาระบบที่มีและไม่มีการเติมสารตกตะกอนผลการทดสอบ Jar test พบว่า สารส้ม โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น โคลิฟอร์ม และสาหร่าย ในปริมาณที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามการกำจัดที่ไม่มีสารตกตะกอนสามารถกำจัดโคลิฟาจได้ในปริมาณสูง การกำจัดจุลินทรีย์ในระบบเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นที่อัตราการกรอง 5 m^3/m^2- h แต่มีแนวโน้มตรงกันข้ามที่อัตราการกรองสูง (10-15 m^3/m^2- h) ความแตกต่างของชนิดสารตกตะกอนและอัตราการกรองในระบบถังกรองเม็ดพลาสติกลอยมีผลต่อการกำจัดจุลินทรีย์ในระบบไมโครฟิลเตรชั่น การดินระบบถังกรองเม็ดพลาสติกลอยที่อัตราการกรอง 15m^3/m^2- hและไมโครฟิลเตรชั่นที่อัตราการกอง 0.6 m^3/m^2- d สามารถกำจัดความขุ่นและกลุ่มของจุลินทรีย์ทั้งหมดได้อย่างน่าพอใจ

ชันยาภรณ์ (2540) ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำ โดยใช้ทรายและเม็ดพลาสติกโพลิโพรพิลีน (Polypropylene) เป็นตัวกลาง พบว่าระบบมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อใช้ความสูงของชั้นตัวกลางเท่ากับ 40:40 ที่อัตราเร็วในการกรองเท่ากับ 5m^3/m^2- h โดยมการสูญเสียความดันต่ำสุดเท่ากับ 40.4 ซม. และวิธีการล้างย้อนโดยใช้อากาศตามด้วยน้ำเป็นวิธีที่ใช้เวลาและปริมาณน้ำล้างย้อนน้อยที่สุด

จิตรลดา ดำรงสุกิจ (2546) ทำการศึกษาในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่าอัตราการกรองของระบบถังกรองเม็ดพลาสติกลอยที่เหมาะสมในการกำจัดโคลิฟอร์ม และโคลิฟาจ คือ 5m^3/m^2- hกรณีใช้ระบบเดียวในการกำจัดทั้งที่มีและไม่มีสารเคมีในการตกตะกอน แต่ในการเดินระบบถังกรองเม็ดพลาสติกลอยร่วมกับไมโครฟิลเตรชั่น พบว่า อัตราการกรองที่เหมาะสม คือ 15m^3/m^2- h ของถังกรองเม็ดพลาสติกลอยและ 0.6m^3/m^2- d ของระบบไมโครฟิลเตรชั่น โดยใช้โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ 30 mg/l เป็นสารสร้างตะกอน ประสิทธิภาพของระบบถังกรองเม็ดพลาสติกลอยสามารถกำจัดโคลิฟอร์มและโคลิฟาจได้ร้อยละ 94-97 และ 66-80 ตามลำดับ ส่วนระบบไมโครฟิลเตรชั่น สามารถลดปริมาณโคลิฟอร์มได้ตามเกณฑ์มาตรฐานขององค์การอนามัยโลก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แก้วตา วันดี (2552) ทำการศึกษาใช้ระบบกรองเม็ดพลาสติกลอยโดยใช้อัตราการกรอง15 m^3/m^2- h ระบบกรองทรายโดยใช้อัตราการกรอง 5 m^3/m^2- h และระบบกรองไมโครฟิลเตรชั่นเมมเบรนโดยใช้อัตราการกรอง 0.6 m^3/m^2- d โดยใช้จุลินทรีย์เป็นดัชนีการปนเปื้อนพบว่าประสิทธิภาพของระบบกรองไมโครฟิลเตรชั่นสามารถกำจัดจุลินทรีย์ชนิดโคลิฟอร์มได้ร้อยละ 99.89-99.99 ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงสุดระบบที่มีประสิทธิภาพรองลงมาได้แก่ ระบบกรองทรายและระบบกรองเม็ดพลาสติกโดยมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 78.18-99.04 และร้อยละ 37.50-90.00 ตามลำดับ

ประสิทธ์ วัฒนปรีชาธรรม (2554) ได้ทำการศึกษาในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด โดยใช้ระบบกรองเม็ดพลาสติกลอยร่วมกับเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชั่นใช้อัตราเร็วในการกรอง 0.6m^3/m^2- d สามารถกำจัดสี ความขุ่น บีโอดีและโคลิฟอร์ม ได้ดีที่สุดรองลงมาคือ ระบบทรายกรองใช้อัตราเร็วในการกรอง 5 m^3/m^2- h สุดท้าย คือระบบกรองเม็ดพลาสติกลอย โดยใช้เม็ดพลาสติกโพลีโพรพีลีนเป็นตัวกลาง ใช้อัตราเร็วในการกรอง 15 m^3/m^2- h มีประสิทธิภาพในการกำจัดสี ความขุ่น บีโอดี และโคลิฟอร์ม ตามลำดับ

จุลินทรีย์ก่อโรค

กลุ่มจุลินทรีย์ก่อโรค เช่น โปรโทซัว พยาธิ แบคทีเรีย และไวรัส มีความสำคัญในการตรวจวัดพารามิเตอร์ทางด้านคุณภาพน้ำ โดยเฉพาะน้ำที่นำกลับมาใช้ใหม่ (Farahbakhsh and Smith, 2004) ส่วนใหญ่กลุ่มจุลินทรีย์ดังกล่าวสามารถพบได้ในน้ำและน้ำเสียทั่วไป กลุ่มจุลินทรีย์เหล่านี้ก่อให้เกิดโรคทางเดินอาหาร ที่เกิดจากการปนเปื้อนที่มีเชื้อโรคเหล่านี้ในสิ่งแวดล้อม (Toze, 1999) ดังแสดงในตารางที่ 6

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 6 ตัวอย่างจุลินทรีย์ก่อโรคที่ถูกตรวจวัดในน้ำที่ไม่ผ่านการบำบัดและน้ำเสีย (ปรับปรุงจาก U.S.EPA (1992))

Microbial type	Major disease(s)[a]	Concentration in wastewaters	Infectious dose[b]
Viruses			
Enteroviruses			
Poliovirus	Poliomyelitis		
Enterovirus	Gastroenteritis, heart anomalies, meningitis		
Echovirus			
Coxsackievirus			
Hepatitis A virus	Hepatitis		
Adenovirus	Respiratory disease, conjunctivitis	Medium to High	Low
Reovirus	Not clearly established		
Calicivirus			
Norwalk agent	Gastroenteritis, diarrhoea, vomiting, fever		
SSRV			
Rotavirus	Gastroenteritis		
Astrovirus	Gastroenteritis		
Bacteria			
Vibrio cholera	Cholera		High
Salmonella typhi	Typhoid, Salmonellosis		High

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 6 (ต่อ)

Microbial type	**Major disease(s)**[a]	**Concentration in wastewaters**	**Infectious dose**[b]
Enteropathogenic *E. coli*	Gastroenteritis	Medium to High	High
Campylobacter jejuni	Gastroenteritis		High
Shigella dysinterae	Dysentery		
Yersinia	Yersiniosis		High
Enterocolitica			
Protozoa			
Giardia intestinalis	Giardiasis	Low to Medium	Low
Cryptosporidium parvum	Diarrhea, fever		Low
Entamoeba histolytica	Amoebic dysentery		Low
Helminths			
Ascaris lumbricoides	Ascariasis		Low
(round worm)			
Ancylostoma spp. (hook worm)		Low	Low
Trichuris trichiura	Trichuriasis		Low
(whip worm)			
Strongiloides stercoralis	Strongyloidasis		Low

หมายเหตุ [a]A number of the pathogens listed are capable of causing other infections in some situations.

[b]Low indicates only a few viral particles/cells/cysts/eggs required to cause infection. High indicates many required to cause an infection

ที่มา: Toze (1999)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุจจาระที่มีการปนเปื้อนเป็นแหล่งที่มาหลักๆของจุลินทรีย์ก่อโรคจำนวนมาก ในน้ำเสีย การปนเปื้อนนี้อาจเกิดขึ้นจากอุจาระทั้งของมนุษย์และสัตว์ จากข้อมูลข้างต้นเป็นการแสดงให้เห็นถึงความเสี่ยงในการเกิดโรคที่มาจากจุลินทรีย์ก่อโรค ไม่เพียงแต่แบคทีเรียในลำไส้ที่ก่อให้เกิดโรคเท่านั้น ยังมีแบคทีเรีย เช่น *Legionella, Mycobacterium* และ เชื้อโรคที่ฉวยโอกาสต่างๆ ซึ่งปรากฏอยู่ในน้ำมีความเสี่ยงในการก่อให้เกิดโรคเช่นกัน (Toze, 1999)

ดังนั้นในการศึกษาวิจัยนี้จึงทำการศึกษาจุลินทรีย์ 2 ประเภท คือ แบคทีเรียและไวรัส

แบคทีเรีย (Bacteria)

โดยทั่วไปมีความยาว 2-10 μmกว้าง 0.2-2.0 μmมีรูปร่างมี 3 แบบคือแบบกลม (Spherical, Cocci) แบบแท่ง (Rods Shaped, Bacilli) และแบบเกลียว (Spirilla, Spiral) นอกจากนี้ยังอาจพบแบคทีเรียที่มีรูปร่างไม่เข้ากลุ่มกับ 3 ลักษณะที่กล่าวมาแล้วคือแบคทีเรียลักษณะเป็นเส้นใยแต่ไม่มีปลอกหุ้มเรียกว่า Actinomycetes แบคทีเรียมีลักษณะเป็นเส้นใยและมีปลอกหุ้มเรียกว่า Sheathed Bacteria แบคทีเรียลักษณะเป็นเส้นใยเคลื่อนที่โดยการลื่นไถลเรียกว่า Gliding Bacteria และแบคทีเรียที่มีก้าน (Stalk) ติดกับเซลล์ปลายก้านมีลักษณะ Holdfast ที่สามารถยึดติดกับผิวต่างๆได้เรียกแบคทีเรียกลุ่มนี้ว่า Stalked Bacteriaและแบคทีเรียที่มีรูปร่างไม่แน่นอนเป็นต้นโครงสร้างของเซลล์มีผนังเซลล์ (Cell Wall) ที่แข็งล้อมรอบทำให้แบคทีเรียคงรูปร่างอยู่ได้แบคทีเรียบางชนิดยังมีแคปซูล (Capsule) ล้อมรอบอีกชั้นซึ่งแบคทีเรียที่มีแคปซูลมักเป็นพวกทำให้เกิดโรค (ศิรประภา, 2546)

การแบ่งประเภทของแบคทีเรียตามการเกิดโรคสามารถแบ่งออกได้ 2 กลุ่มใหญ่ ดังนี้

1. แบคทีเรียก่อโรค (Pathogenic Bacteria) จัดว่าเป็นกลุ่มที่ทำให้เกิดโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินอาหาร เช่น โรคอหิวาตกโรค โรคบิด โรคท้องร่วง เป็นต้น แบคทีเรียกลุ่มนี้ไม่สามารถทนต่อสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงมากๆได้ คือ เมื่อออกจากร่างกายมนุษย์หรือสัตว์เลือดอุ่นจะตายง่าย การวิเคราะห์ค่อนข้างลำบากต้องใช้เทคนิคขั้นสูง จึงไม่นิยมนำมาเป็นมาตรการตรวจวัดคุณภาพน้ำ เว้นเสียแต่ทราบแน่ชัดว่าเป็นโรคอะไรแน่ จึงทำการวิเคราะห์ตรวจหาเชื้อโรคนั้นๆ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. แบคทีเรียที่ไม่ก่อโรค (Non - Pathogenic Bacteria) แบคทีเรียกลุ่มนี้จะอาศัยอยู่ในลำไส้ของมนุษย์และสัตว์ ทนต่อสภาวะแวดล้อมได้ดีพบในอุจจาระของมนุษย์และสัตว์เสมอ มีลักษณะเป็นแท่งหลายชนิดโดยเรียกรวมๆว่า แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม (Coliform bacteria) (เกรียงศักดิ์, 2542)

โคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Coliforms bacteria)

เป็นกลุ่มแบคทีเรียที่จัดอยู่ในวงศ์เอนเทอโรแบคเทอริเอซิอี (Enterobacteriaceae) ลักษณะรูปร่างเป็นท่อน ติดสีแกรมลบ ไม่สร้างสปอร์ สามารถเจริญได้ทั้งในที่มีออกซิเจน และไม่มีออกซิเจน มีคุณสมบัติเฉพาะที่สามารถใช้น้ำตาลแลคโตสแล้วให้กรดและก๊าซภายในเวลา 24-48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส โคลิฟอร์มแบ่งตามแหล่งที่มาได้เป็น 2 กลุ่มคือ

1. ฟีคัลโคลิฟอร์ม (Fecal coliform) เป็นแบคทีเรียในกลุ่มโคลิฟอร์ม ที่สามารถใช้น้ำตาลแลคโตสแล้วให้กรดและก๊าซที่อุณหภูมิประมาณ 44.5 – 45.5 องศาเซลเซียสได้ พวกนี้อาศัยอยู่ในลำไส้ของคนและสัตว์เลือดอุ่น ถูกขับถ่ายออกมากับอุจจาระเมื่อเกิดการระบาดของโรคระบบทางเดินอาหารได้แก่*E. coli*

2. นันฟีคัลโคลิฟอร์ม (Non – fecal coliform) พวกนี้อาศัยอยู่ในดินและพืช มีอันตรายน้อยกว่าพวกแรก ใช้บ่งบอกถึงความไม่สะอาดของน้ำได้ ได้แก่ เอนเทอร์โรเบคเตอร์ แอโรจีเนส (Enterobacteraerogenes) ไม่สามารถตรวจพบก๊าซจากการใช้แลคโตสที่อุณหภูมิ 44.5 ± 2 (สุพรรณี, 2547)

เพราะฉะนั้นแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม (Coliform bacteria) จึงถูกใช้เป็นตัวบ่งชี้ (Bacterial indicators) ว่าน้ำมีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการอุปโภคบริโภคหรือไม่ โดยดูจากแนวโน้มที่จะมีเชื้อให้เกิดโรค (Pathogens) ดังนั้น การตรวจพบแบคทีเรียกลุ่มนี้ในปริมาณมากน่าจะบ่งชี้ว่ามีเชื้อที่ทำให้เกิดโรคในมนุษย์ปนเปื้อนอยู่ในน้ำนั้น (สุเทพ, 2551)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ส่วนฟีคัลโคลิฟอร์มมักถูกใช้เป็นตัวบ่งชี้โอกาสของการปนเปื้อนจากสิ่งขับถ่ายของมนุษย์ เนื่องจากพบแบคทีเรียกลุ่มนี้ได้ในลำไส้ของมนุษย์และสัตว์เลือดอุ่นทั่วไปโดยแบคทีเรียที่สำคัญและถูกกำหนดให้เป็นตัวบ่งชี้อยู่เสมอๆได้แก่*อี. โคไล* แสดงให้เห็นถึงโอกาสการปนเปื้อนจากอุจจาระของมนุษย์ยังบอกถึงอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคจากแบคทีเรียชนิดอื่นๆที่พบในระบบทางเดินอาหาร เช่น *ซาลโมเนลลา(Salmonella spp.) ชิเจลลา(Shigella spp.) วิบริโอ(Vibrio spp.)* เป็นต้น นอกจากนี้*อี. โคไล* บางสายพันธุ์ยังถูกจัดไว้ในกลุ่มเอนเทอโรไวรูเลนท์*อี. โคไล* (enterovirulent*E. coli*) ซึ่งก่อให้เกิดโรคระบบทางเดินอาหารที่สำคัญอีกด้วย (สุพรรณี, 2547)

ไวรัส (Virus)

ไวรัสเป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กมาก มีขนาด 0.01 – 0.3 μm (ปรีชาและนงลักษณ์, 2548) ไวรัสไม่จัดเป็นเซลล์เนื่องจากขาดโครงสร้างและองค์ประกอบของเซลล์ ถึงแม้ว่าไวรัสจะสามารถอยู่อิสระนอกโฮสต์ แต่ไม่สามารถเพิ่มจำนวนได้นอกโฮสต์ ต้องอยู่ในเซลล์สิ่งมีชีวิตอื่นๆเพื่อดำรงชีวิตและเพิ่มจำนวน โครงสร้างและขบวนการเมตาโบลิซึมของไวรัสต่ำกว่าแบคทีเรียและริกเกตเซีย คือ มีเพียงกรดนิวคลีอิก ชนิด DNA หรือ RNA ชนิดใดชนิดหนึ่ง และมีโปรตีนห่อหุ้มเรียกว่า แคปสิด (capsid) (วีรานุช, 2551) ส่วน DNA หรือ RNA อาจเป็นชนิดสายคู่ หรือสายเดี่ยว ไวรัสบางชนิดอาจมีสารอื่นมาห่อหุ้มนอกชั้นโปรตีนอีกทีหนึ่ง เรียกว่า เอนเวลโลป (envelope) ซึ่งอาจเป็นสารพวกลิปิด หรือลิโปโปรตีน (Withey *et al.,* 2004)

รูปร่างของไวรัสมีหลายแบบ เช่น ทรงกลม รูปไข่ ทรงกระบอกหรือคล้ายลูกอ๊อด ซึ่งสามารถแบ่งไวรัสได้ 3 กลุ่ม โดยแบ่งตามลักษณะของ Host Cell ได้ดังนี้คือ ไวรัสในสัตว์ (Animal Virus) ไวรัสในพืช (Plant Virus) และไวรัสแบคทีเรีย (Bacteriophage) (จิตรลดา, 2546)

ไวรัสในน้ำ

น้ำที่ได้มีการปนเปื้อนจากสิ่งขับถ่ายของมนุษย์และสัตว์ มักจะมีไวรัสปรากฏอยู่ เนื่องจากไวรัสเหล่านี้จะถูกปล่อยออกมาพร้อมกับสิ่งขับถ่าย ไวรัสชนิดนี้ถูกเรียกว่า “enteric virus”เป็นไวรัสที่ไม่มี lipo – protein envelope จึงไม่ถูกน้ำดี (bile salt) ย่อยและทนต่อพีเอชต่ำได้ ทำให้เกิดการติดเชื้อในระบบทางเดินอาหาร นอกจากนี้ยังแพร่กระจายไปยังระบบประสาท ผิวหนัง ตับ หัวใจ ฯลฯ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจหาปริมาณจุลินทรีย์ในแหล่งน้ำนั้นซึ่งแต่เดิมจะตรวจหาจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคโดยตรง แต่เนื่องจากวิธีการตรวจจะยุ่งยาก ค่าใช้จ่ายสูง ใช้เวลามาก และต้องการผู้มีความรู้และทักษะในการตรวจ ดังนั้นการหาจุลินทรีย์ตัวแทน จะใช้เป็นตัวบ่งชี้การปนเปื้อนของไวรัสในแหล่งน้ำ เช่นเดียวกับ Esherichia coli ที่ถูกใช้เป็นตัวบ่งชี้การปนเปื้อนของน้ำด้วยสิ่งขับถ่าย อย่างไรก็ตาม *E.coli* ไม่สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้การปนเปื้อนของไวรัสได้ เพราะไวรัสมีความคงทนในธรรมชาติและในระบบบำบัดน้ำเสียมากกว่า *E.coli* (Stanek and Falkinham III, 2001)

หลักเกณฑ์ในการเลือกตัวบ่งชี้การปนเปื้อนของไวรัสในน้ำ ดังนี้

1. ต้องตรวจพบเมื่อในน้ำมีไวรัสที่ทำให้เกิดโรค และตัวบ่งชี้จะต้องมีในปริมาณมาก
2. ต้องมีแหล่งกำเนิดเดียวกับไวรัสที่ทำให้เกิดโรค และไม่มีการเพิ่มจำนวนในน้ำ
3. ต้องมีความทนทานในธรรมชาติและในระบบบำบัดน้ำเสียเท่ากับหรือมากกว่าไวรัสที่ทำให้เกิดโรค
4. วิธีการตรวจหาง่าย ได้ค่าที่ถูกต้อง และไม่แพง

ดังนั้น แบคเทอริโอฟาจจึงถูกใช้เป็นตัวบ่งชี้ (Viral indicator) เนื่องจากมีโครงสร้างส่วนประกอบ รูปร่างและขนาดใกล้เคียงกับเอนเทอริกไวรัส เป็นไวรัสที่ไม่ก่อให้เกิดโรคต่อมนุษย์ (non - pathogenic) (Zhang and Farahbakhsh, 2007) และเมื่อตรวจพบenteric virus ก็มักจะพบด้วย มีความต้านทานต่อสภาวะแวดล้อมต่างๆได้ดีกว่า enteric virus เช่น ในกระบวนการผลิตน้ำสะอาดและกระบวนการฆ่าเชื้อโรค (รัฐพนธ์, 2543)

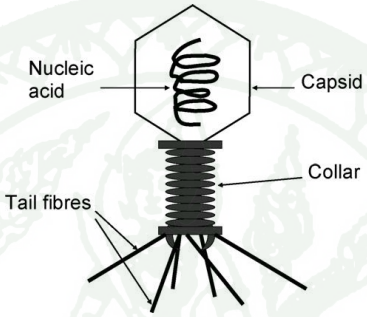
แบคเทอริโอฟาจ (Bacteriophages)

แบคเทอริโอฟาจ (Bacteriophages) หรือ ฟาจ (phage)เป็นไวรัสที่ต้องการของแบคทีเรียเป็นโฮสต์ (host) ซึ่งชนิดของแบคเทอริโอฟาจที่นิยมตรวจวัด ได้แก่ โคลิฟาจ (coliphage) เป็นไวรัสที่ต้องการ *E.coli* เป็นโฮสต์ จึงทำให้โคลิฟาจเป็นตัวชี้วัดของกลุ่มจุลินทรีย์ที่ก่อโรคในมุนษย์ได้ดีกว่าน้ำที่มีการปนเปื้อนสิ่งขับถ่าย (Farahbakhsh and Smith, 2004) แบคเทอริโอฟาจพบร่วมกับแบคทีเรียที่เป็นโฮสต์จำเพาะ แต่ละชนิดมีความจำเพาะกับแบคทีเรียเพียงชนิดเดียว หรือจำเพาะกับแบคทีเรียสองถึงสามชนิดเท่านั้น นอกจากนี้จัดเป็นกลุ่ม obligate parasite สามารถเพิ่มจำนวนของอนุภาคเฉพาะภายในเซลล์ของแบคทีเรียเท่านั้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การจำแนกชนิดของแบคเทอริโอฟาจ

ฟาจทุกชนิดประกอบด้วยจีโนม (genome) ซึ่งหุ้มล้อมด้วยโปรตีน (capsid) โดย genome นั้นอาจจะเป็น double – stranded DNA, single – stranded DNA, double – stranded RNA หรือ single – stranded RNA ซึ่งมีทั้งที่เป็นสายตรงและวงกลม capsid ของเฟจมีรูปร่างได้หลายแบบ เช่น hexagonal ขนาดเล็ก filamentous หรือรูปร่างซับซ้อนที่ประกอบด้วยส่วนหัว และส่วนหาง แสดงดังในภาพที่ 4

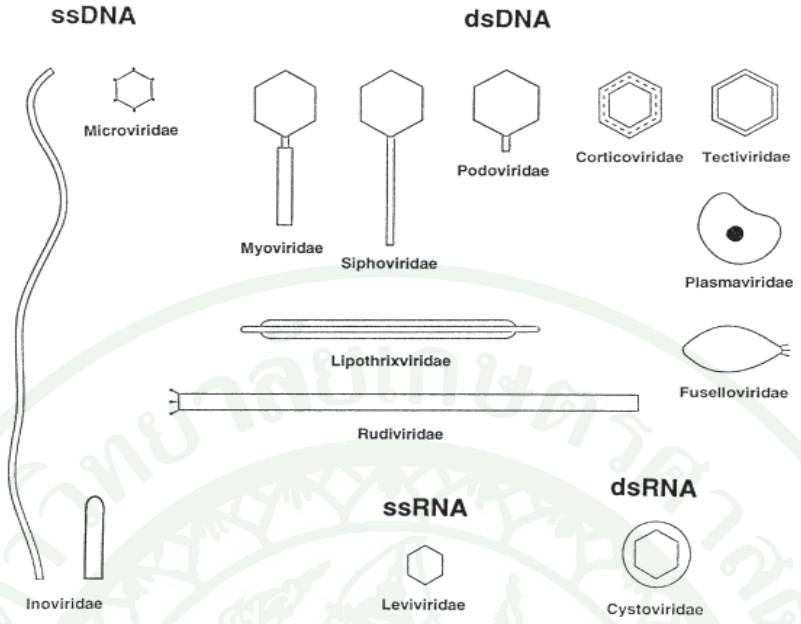


ภาพที่ 4 ลักษณะสัณฐานวิทยาทั่วไปของ Bacteriophage

ที่มา: Hanlon (2007)

ปัจจุบัน International Committee for Taxonomy of Viruses (ICTV) ได้จำแนกฟาจออกเป็น 1 order 13 families และ 30 genera ตามชนิดของกรดนิวคลีอิก (nature of nucleic acid) และรูปร่างลักษณะ (particle morphology) โดยฟาจจำนวนมากกว่าร้อยละ 96 เป็น tailed phage และส่วนใหญ่ dsDNA เป็นสารพันธุกรรม ฟาจมีขนาดต่างๆกันโดยเฉลี่ยประมาณ 20 – 200 nm. (นิตยาและคณะ, 2553)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 5 รูปร่างลักษณะ order และ familiesของ major phage group

ที่มา: นิตยาและคณะ (2553)

การเพิ่มจำนวนของ Bacteriophage

วงจรการเพิ่มจำนวนของฟาจ แบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ

1. Lytic cycle ไวรัสที่มีวงจรการเพิ่มจำนวนแบบ lytic cycle เพียงอย่างเดียว จะเรียกว่า “virulent phage” หรือ lytic phages โดยไวรัสเข้าสู่เซลล์แบคทีเรียเพื่อเพิ่มจำนวนไวริออน (สาวิตรี, 2552) โดยใช้สารต่างๆจากโฮสต์ในการสร้างโปรตีนและจีโนม จากนั้นส่วนประกอบต่างๆเข้าเป็น phage progeny และส่งผลให้เซลล์แบคทีเรียแตกในที่สุด (Withey *et al.,* 2005)

2. Lysogenic cycle ไวรัสที่มีวงจรการเพิ่มจำนวนทั้งแบบ lysogenic cycle และ lytic cycle เรียกว่า “temperate phages” มีกรดนิวคลิอิกชนิดดีเอ็นเอเส้นคู่ โดยระยะ lysogenic cycle เมื่อฟาจเข้าสู่เซลล์ กรดนิวคลิอิกของฟาจจะเข้าไปรวมกับโครโมโซมของแบคทีเรีย เมื่อแบคทีเรียแบ่งเซลล์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กรดนิวคลิอิกของไวรัสก็จะถ่ายทอดจากแบคทีเรียรุ่นหนึ่งไปสู่อีกรุ่นหนึ่งเรื่อยๆ แต่ไม่ทำให้เซลล์แบคทีเรียแตก (สาวิตรี, 2552)

วงจรการเพิ่มจำนวนของ virulent phages เรียกว่า lytic phages (แสดงดังภาพที่ 6) มีขั้นตอนดังนี้

1. Adsorption เป็นระยะที่ฟาจเข้าเกาะเซลล์แบคทีเรียเจ้าบ้าน โดยใช้ส่วนห่างยึดติดกับผนังของเซลล์แบคทีเรีย การเข้าเกาะจะมีความจำเพาะระหว่างแบคทีเรียสายพันธุ์ที่มีความไวต่อฟาจ การเข้าเกาะของฟาจจะอยู่บนผนังของเซลล์ในแบคทีเรียแกรมลบ ได้แก่ lipopolysaccharide หรือโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของ outer membrane

2. Penetration เป็นระยะที่ฟาจปล่อย lysozyme ออกมาย่อยผนังเซลล์ของแบคทีเรีย ปลอกหุ้มส่วนห่างของไวรัสจะหดลงและดันส่วนแกนของหางทะลุผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียเข้าไป จากนั้นฟาจจะฉีด DNA เข้าไปในเซลล์ของแบคทีเรีย

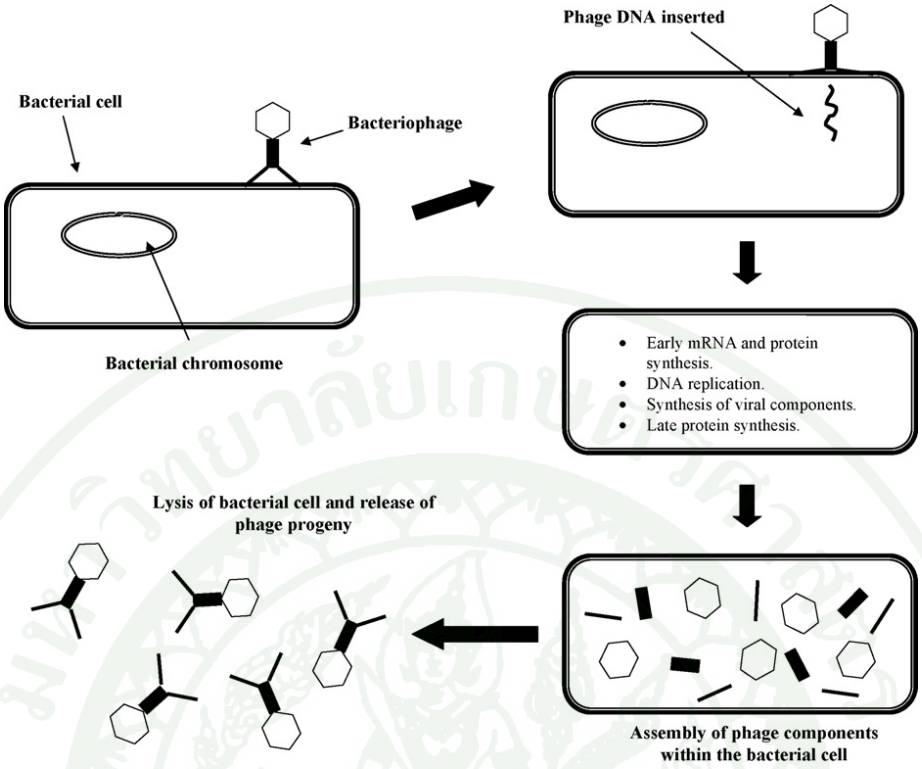
3. Latent period หรือ biosynthesis เป็นระยะที่แบคทีเรียสร้าง DNA และโปรตีนหุ้มของฟาจทั้งส่วนหัวและส่วนหาง

4. Maturation เป็นระยะที่ส่วนประกอบแต่ละส่วนที่สร้างแยกกัน มาประกอบตัวกันเป็นอนุภาคของฟาจ หรือเป็นไวริออน

5. Burst period หรือ release เป็นระยะที่เซลล์ของแบคทีเรียแตกและปลดปล่อยไวริออนออกมามากมาย เพื่อเข้าสู่เซลล์แบคทีเรียใหม่ต่อไป

การจำลองตัวของฟาจมีกลไกการควบคุมโดยสารพันธุกรรม คือ กรดนิวคลิอิก (RNA หรือ DNA) ที่ฟาจปล่อยเข้าสู่เซลล์เจ้าบ้าน และเข้าควบคุมกลไกเมตาบอลิซึมของเจ้าบ้าน ให้สร้างกรดนิวคลิอิกของฟาจมากกว่านิวคลิอิกของตัวแบคทีเรียเอง ประมาณ 25 นาทีแรก หลังจากฟาจ 1 อนุภาคเข้าสู่เซลล์แบคทีเรียมีการสร้างไวริออนใหม่ถึง 200 อนุภาค (สาวิตรี, 2552)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 6 วงจรการเพิ่มจำนวนแบบ lytic cycle

ที่มา: Hanlon (2007)

วิธีการตรวจสอบไวรัส

วิธีการ Plaque assay เป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน และตรวจสอบได้ง่าย ไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์ซับซ้อนในการนับจำนวนฟาจ (รัฐพนธ์, 2543)

โดยใช้แบคทีเรียที่อายุน้อยซึ่งอยู่ในช่วงที่เชื้อกำลังเจริญได้ดี ถือว่าเป็นช่วงที่สำคัญที่สุด เลี้ยงแบคทีเรียเจ้าบ้านในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว (broth) หรือวุ้น (agar)ก็ได้ ถ้าเลี้ยงในอาหารเหลว การแตกของแบคทีเรียสามารถสังเกตได้จากอาหารที่ขุ่นจะใสขึ้น และในขณะที่เลี้ยงบนจานวุ้นจะเห็นโคโลนีของแบคทีเรียแตกเป็นวงใส (clear zone) เรียกว่า “พลัค” (plaque) สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (สาวิตรี, 2552)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การประเมินความเสี่ยงในการเกิดโรคต่อคน

การประเมินความเสี่ยงหมายถึง กระบวนการประเมินโอกาสที่จะเกิดความเป็นพิษต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ เช่น การบาดเจ็บ การเจ็บป่วยหรือการตาย ที่เกิดขึ้นจากการได้รับสารพิษ สารเคมี หรือเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค (สิราภรณ์, 2552)

การประเมินความเสี่ยงทางจุลินทรีย์ (Microbial Risk Assessment) เป็นกระบวนการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากการสัมผัสเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค สารพิษจากเชื้อหรือเชื้อจุลินทรีย์ในสิ่งแวดล้อมและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความเสี่ยงนั้น โดยความเสี่ยงที่เกิดขึ้นสามารถประมาณค่าได้ เช่น ใช้วิธีทางสถิติ หรือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ หรือการใช้วิธีการทางวิทยาการระบาด (พิพัฒน์, 2550)

การประเมินความเสี่ยงทางจุลินทรีย์ จึงเป็นกระบวนการปฏิบัติเพื่อการพัฒนาแนวทางทางป้องกันหรือลดความเสี่ยงและลดผลกระทบต่อสุขภาพจากการที่มนุษย์ต้องสัมผัสกับจุลินทรีย์ก่อโรคในสิ่งแวดล้อม

การประเมินความเสี่ยงทางจุลินทรีย์ ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน

1. การบ่งชี้ถึงสิ่งที่อันตราย (Hazard Identification)
2. การประเมินการสัมผัส (Exposure Assessment)
3. การประเมินขนาดสัมผัสกับการตอบสนอง (Dose – response Assessment)
4. การพรรณนาลักษณะความเสี่ยง (Risk Assessment)

1. การบ่งชี้ถึงอันตราย (Hazard Identification)

เป็นกระบวนการบ่งชี้ถึงอันตรายที่เป็นเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค หรือสารพิษจากเชื้อจุลินทรีย์ หรือจุลินทรีย์ในสิ่งแวดล้อมที่สามารถทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ และปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเชื้อจุลินทรีย์นั้น มีการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์มากน้อยเพียงใด ปนเปื้อนเชื้ออะไรบ้าง ก่อให้เกิดโรค หรือเป็นอันตรายต่อสุขภาพ (ทั้งระยะสั้นและระยะยาว) หรือไม่ อย่างไร มี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปัจจัยอะไรบ้างที่ทำให้เกิดการปนเปื้อน มีปัจจัยอะไรบ้างที่มีผลต่อการมีชีวิตอยู่ หรือ การรอดชีวิต หรือ การเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อน เป็นต้น

2. การประเมินการสัมผัส (Exposure Assessment)

เป็นกระบวนการประเมินทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณเมื่อมนุษย์ได้รับสิ่งที่อันตรายที่เป็นเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค หรือสารพิษจากเชื้อ ผ่านการสัมผัสทางน้ำ อาหาร หรือแหล่งอื่นๆ เพื่ออธิบายระดับการสัมผัส ระยะเวลาของการสัมผัส วิธีการ หรือทางที่สัมผัส อิทธิพลของสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการสัมผัสของมนุษย์

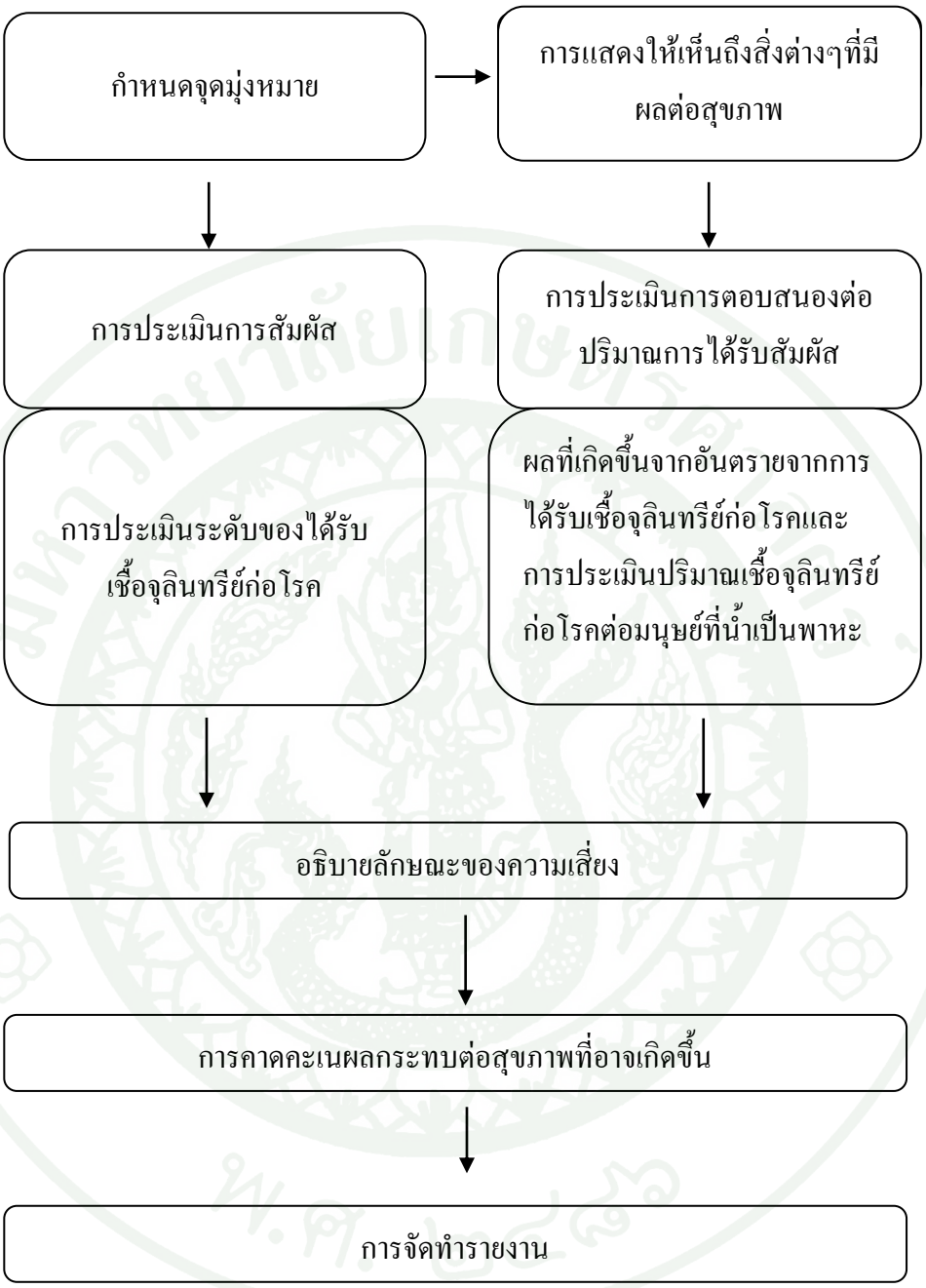
3. การประเมินขนาดการสัมผัสกับการตอบสนอง (Dose – response Assessment)

เป็นกระบวนการเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเชื้อจุลินทรีย์หรือขนาดของการสัมผัส กับ ขนาดของผลกระทบต่อสุขภาพ หรือโอกาสที่จะเกิดผลกระทบต่อสุขภาพ และปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถก่อการติดเชื้อได้ ความสามารถของการติดเชื้อ ความสามารถของการก่อให้เกิดพยาธิสภาพ อัตราการติดเชื้อจากการสัมผัสเชื้อจุลินทรีย์นั้น แถบของการติดเชื้อหรือแถบของโรค ระยะฟักตัว ปัจจัยความรุนแรงของเชื้อ สภาพร่างกายของมนุษย์ที่มีต่อเชื้อจุลินทรีย์นั้น ตลอดจนปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโรค เป็นต้น

4. การพรรณนาลักษณะความเสี่ยง (Risk Characterization)

เป็นการสังเคราะห์ข้อมูลจากขั้นตอนที่ 1 ถึง 3 เพื่อพรรณนาธรรมชาติ หรือ ลักษณะความเสี่ยงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น รวมทั้งโอกาสเกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ รวมถึงภาระความไม่แน่นอนที่อาจเกิดขึ้นหลักการคร่าวๆในการประเมินความเสี่ยงทางจุลินทรีย์สรุปไว้ในภาพที่ 7

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 7 ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงทางจุลินทรีย์

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก Lamerding and Fazil (2000)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การประเมินความเสี่ยงจากเชื้อโรคต่อสุขภาพ สำหรับกิจกรรมในการนำน้ำกลับมาใช้ประโยชน์

วิธีการ Quantitative Microbial Risk Assessment (QMRA) เป็นวิธีการหนึ่งที่ WHO และ USEPA ให้การยอมรับ และมีการใช้กันอย่างกว้างขวางโดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานวางแผนความเสี่ยง เพราะเป็นวิธีการที่ได้ผลเร็ว ใช้ข้อมูลน้อย และมีค่าใช้จ่ายน้อย เมื่อเทียบกับวิธีการทางระบาดวิทยา ลักษณะการประเมินความเสี่ยงคล้ายๆกับข้างต้น(สำนักการระบายน้ำ, 2555)

วิธีการประเมินความเสี่ยงของโรคติดเชื้อ โดยวิธี QMRA เป็นวิธีที่หาผลของการได้รับเชื้อของการสัมผัสที่เกิดจริงหรือการสัมผัสที่คาดว่าจะมี โดยผลของการติดเชื้ออาจจะแสดงในรูปที่เกิดเป็นโรคหรือไม่ก็ได้ ใช้รูปแบบการประเมินความเสี่ยงทางจุลินทรีย์แบบเดียวกันกับรูปแบบดังกล่าวข้างต้น (สำนักการระบายน้ำ, 2555)

ในการศึกษานี้ใช้เชื้อ *E. coli* โดยใช้รูปแบบโมเดล 2 โมเดลที่เข้าได้กับเชื้อโรคต่างๆ คือ โมเดล Exponential และโมเดล Beta Poisson ค่าสัมประสิทธิ์ และโมเดล ของ เชื้อ *E. coli* ที่ไม่ก่อโรค (non – enterohaemorrhagic strains) ได้แสดงในตารางที่ 7

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 7 ค่าสัมประสิทธิ์ ของเชื้อต่างๆในการประเมินความเสี่ยงของการติดเชื้อ

Organism	Exponential k	Beta Poisson		Reference
		N_{50}	a	
Poliovirus I (Minor)	109.87	6.17	0.2531	Minor *et al*, 1981
Rotavirus				Haas *et al*. 1993 Ward *et al*. 1986
Hepatitis A virus[(a)]	1.8229			Ward *et al*. 1958
Adenovirus 4	2.397			Couch *et al*. 1966
Echovirus 12	78.3			Akin 1981
Coxsackie[(b)]	69.1			Couch *et al*. 1965 Suptel, 1963
Salmonella[(c)]		23,600	0.3126	Haas *et al*. 1999
Salmonella typhosa		3.60×10^6	0.1086	Hornick*et al*. 1966
Shigella[(d)]		1120	0.21	Haas *et al*. 1999
Escherichia coli[(e)]		8.60×10^7	0.1778	Haas *et al*. 1999
Campylobacter jejuni		896	0.145	Medema*et al*. 1996
Vibrio cholera		243	0.25	Haas *et al*. 1999
Entamoeba coli		341	0.1008	Rendtorff 1954
Cryptosporidium - parvum	238			Haas *et al*. 1996; Dupont*et al*. 1995
Giardia lamblia		50.23		Rose *et al*. 1991

หมายเหตุ : (a) Dose in grams of feces (of excreting infected individuals) (b) B4 and A21 strains pooled (c) Multiple (non-typhoid) pathogenic strains (*S. pullorum* excluded) (d) Flexnerii and dysenteriae pooled (e) Non enterohaemorrhagic strains (except O111)

ที่มา: สำนักการระบายน้ำ, 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดยค่าความเสี่ยง *(Pi)*ของเชื้อ *E. coli* ได้ดังแสดงในสมการที่ 1 และ 2

$$Pi = 1 - [1 + \frac{D\,(2^{1/\alpha}-1)}{N_{50}}]^{-\alpha} \qquad \text{สมการที่ 1}$$

$$Pi_{yearly} = 1 - (1 - Pi)^{n} \qquad \text{สมการที่ 2}$$

โดยที่ *Pi* คือ ค่าความเสี่ยง

αคือ ค่าความชันของพารามิเตอร์

D คือ ความเข้มข้นของเชื้อ *E.coli* หรือ ปริมาณเชื้อ *E.coli*

N_{50}คือ ปริมาณเชื้อก่อโรคที่จะเกิดขึ้นในครึ่งหนึ่งของจำนวนประชากร

โมเดล Exponential ในการประเมินอย่างง่ายในการรับขนาดการสัมผัสและการตอบสนอง แสดงในสมการที่ 3

$$Pi = 1 - exp(-\frac{d}{k}) \qquad \text{สมการที่ 3}$$

โดยที่ d คือ ความเข้มข้นของเชื้อ *E.coli*หรือ ปริมาณเชื้อ *E.coli*

K คือ จำนวนของสิ่งมีชีวิตที่มีโอกาสในการอยู่รอดที่จะก่อให้เกิดการติดเชื้อ

โมเดล Exponential เป็นรูปแบบความสัมพันธ์ของเชื้อที่จะก่อให้เกิดโรคสามารถอธิบายถึงโอกาสในการอยู่รอดของเชื้อดังกล่าวที่จะส่งผลต่อค่าความสัมพันธ์ของระดับปริมาณเชื้อโรคที่ส่งผลกระทบต่อผู้ที่ได้รับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หลังจากนั้นทำการประเมินความเสี่ยงของเชื้อที่ก่อโรคโมเดล Beta Poisson ในสมการที่ 1 แต่ค่าสัมประสิทธิ์ในการประเมินจะแตกต่างจากสมการที่ 1 ข้างต้นเนื่องจากเป็นอีโคไลชนิดก่อโรค แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 8 ค่าสัมประสิทธิ์ในการประเมินความเสี่ยงของเชื้อก่อโรค

Model	Beta fit		Residual deviance (γ)	P[a] (goodness of fit)
	Parameter	Value		
Exponential	K[b]	1.6×10^7	24.4	0.001
Beta Poisson	α[c]	0.49	3.1	0.79
	N_{50}[d]	5.96×10^5	3.1	0.79

หมายเหตุ: [a]*P*=value for improvement in fit54310 (D*Y*521.3, 1 df).

[b]*k* =The number of organisms surviving for at least one to cause infection.

[c]α =The slope parameter of Eq. (1).

[d]N_{50} = The dose that would infect half of the population.

ที่มา: Hass (2000)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. น้ำที่ใช้ในการทดลอง: น้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์กรุงเทพมหานคร

2. ถังจ่ายน้ำ: ถังพลาสติก ขนาด 60 ลิตร ภายในติดตั้งระบบโฟล์สวิตส์เพื่อตัดการทำงานของปั๊มเมื่อน้ำเต็ม

3. ถังกรองตัวกลางแขวนลอย: ท่อกลวงใสทำจากอะคลีลิคพลาสติก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.10 เมตร หนา 0.01 เมตร สูง 1.6 เมตร จำนวน 2 ท่อ แต่ละท่อบรรจุตัวกลาง คือ เม็ดพลาสติกโพลีโพรพิลีน ขนาด 3.8 มิลลิลิตร ลึก 0.60 เมตร และทรายกรองขนาด 1.1 เมตร (ผ่านตะแกรงเบอร์ 14 แต่ค้างอยู่บนตะแกรงเบอร์ 20) ลึก 0.60 เมตร (แสดงดังภาพที่ 8)

4. ถังปฏิกิริยาเยื่อกรอง: ถังใสทรงสี่เหลี่ยมทำจากอะคลีลิคพลาสติก ขนาดถัง 35 ลิตร

5. เยื่อกรอง: อัลตร้าฟิลเตรชั่นเมมเบรน (Ultrafiltration membrane: UF) ของบจก. มิตซูบิชิ เรยอน ขนาดช่องเปิดของเยื่อกรอง 0.05 ไมครอน พื้นที่ผิวกรองทั้งหมด0.077 ตารางเมตร

6. อุปกรณ์วัดความดัน (Vaccum Gauge)

7. ปั๊มหอยโข่ง (Centrifugal pump) และปั๊มชนิด Peristaltic pump

8. อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ดัชนีชี้วัดทั้งกายภาพ ได้แก่

8.1 เครื่องวัดพีเอช(pHmeter) รุ่น HQd Series Portable meter Hach

8.2 เครื่องมือวิเคราะห์สี เครื่อง Spectrophotometer รุ่น DR/2010 Hach

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

8.3 เครื่องมือวิเคราะห์ความขุ่น เครื่องTurbidity meterรุ่น 2100P Turbidity/Hach

9. อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา

9.1 หม้อนึ่งความดัน (Autoclave)

9.2 ตู้บ่มเพาะเชื้อ (Incubator)

9.3 อาหารเลี้ยงเชื้อได้แก่

9.3.1 lauryltryptose broth (HIMEDIA®)

9.3.2 brilliant green lactose bile broth (HIMEDIA®)

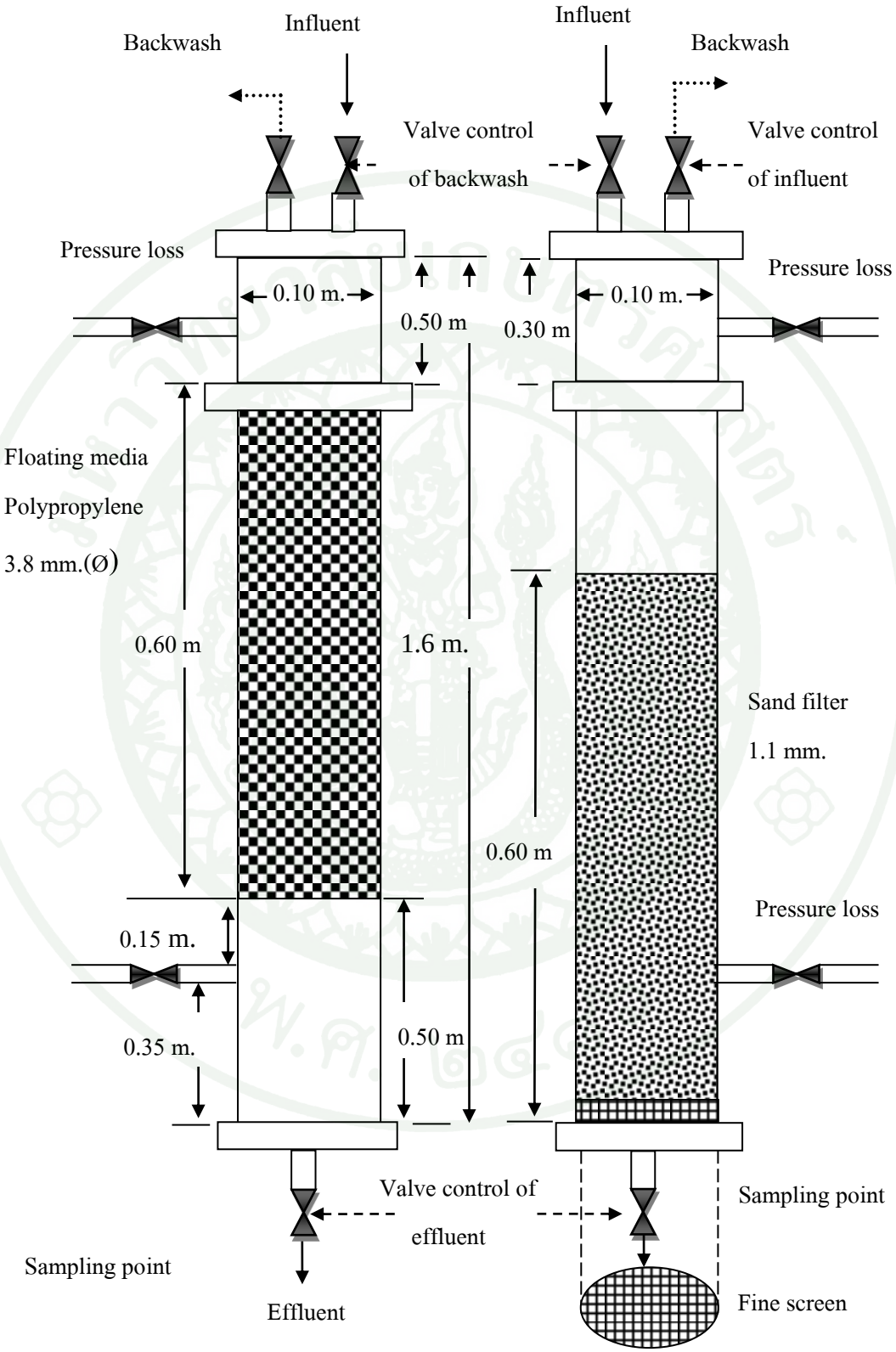
9.3.3 EC broth (HIMEDIA®)

9.3.4 nutrient agar(HIMEDIA®)

9.3.5 nutrient broth(HIMEDIA®)

10. สารเคมีในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ (ภาคผนวก ข) และเครื่องแก้วต่างๆ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 8 แบบจำลองถังตัวกลางลอย (a) และทรายกรอง (b)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการ

ในการศึกษาวิจัยนี้ครั้งนี้ ทำการศึกษาประสิทธิภาพของการกำจัดกลุ่มจุลินทรีย์และไวรัส รวมทั้งการประเมินลักษณะคุณภาพน้ำที่ผ่านระบบทรายกรอง ระบบตัวกลางแขวนลอย ระบบตัวกลางแขวนลอยร่วมกับเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นและระบบเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น โดยใช้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ กรุงเทพมหานคร เพื่อนำน้ำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่แสดงภาพรวมของการทดลอง ดังภาพที่ 9 ดังนี้

1. อัตราในการกรองที่ใช้ในการทดลอง

1.1 ระบบทรายกรอง กำหนดอัตราการกรองที่ 5 m^3/m^2- h เดินระบบ 6 ชั่วโมง

1.2 ระบบตัวกลางแขวนลอย กำหนดอัตราการกรองที่ 15 m^3/m^2- h เดินระบบ 6 ชั่วโมงและ 24 ชั่วโมง

1.3 ระบบตัวกลางแขวนลอยร่วมกับเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น กำหนดอัตราการกรองที่ 15 m^3/m^2- h และ0.6 m^3/m^2- d เดินระบบ 6 ชั่วโมงและ 24 ชั่วโมง

1.4 ระบบเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น กำหนดอัตราการกรองที่ 0.6 m^3/m^2- h เดินระบบ 6 ชั่วโมงและ 24 ชั่วโมง

2. กำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำทั้งหมด 5 จุด ดังนี้

จุดที่ 1 น้ำดิบจากถังจ่ายน้ำ(น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากโรงควบคุมฯ)

จุดที่ 2 น้ำที่ออกจากระบบตัวกลางแขวนลอย

จุดที่ 3 น้ำที่ออกจากระบบตัวกลางแขวนลอยร่วมกับเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น

จุดที่ 4 น้ำที่ออกจากทรายกรอง

จุดที่ 5 น้ำที่ออกจากเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดยทำการเก็บตัวอย่างทุกๆ 2 ชั่วโมงจนครบ 6 ชั่วโมง และเดินระบบ24 ชั่วโมง ต่อเนื่อง น้ำที่เข้าระบบเป็นน้ำที่ผ่านการบำบัดจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ ทำการสูญน้ำขึ้นมาเก็บไว้ในถังจ่ายน้ำภายในติดตั้งโฟล์สวิตส์ เพื่อตัดการทำงานของปั๊มเมื่อน้ำเต็ม น้ำจะถูกจ่ายพร้อมกันทั้ง3 ระบบ คือ ระบบทรายกรอง ระบบตัวกลางแขวนลอย และระบบเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นโดยตรง ส่วนระบบตัวกลางแขวนลอยร่วมกับเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นจะรับน้ำที่ผ่านการกรองจากระบบตัวกลางแขวนลอยก่อน

2.1 น้ำที่เก็บตัวอย่างตามระดับความลึกของคอลัมน์ในระบบตัวกลางแขวนลอย เดินระบบ 6 ชั่วโมงโดยกำหนดระดับความลึกของคอลัมน์ในระบบตัวกลางแขวนลอยที่มีผลต่อการกำจัดกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด ฟีคัลโคลิฟอร์ม และโคลิฟาจ สามารถแบ่งระดับความลึกตามจุดเก็บออกเป็น 4 จุดดังนี้

จุดเก็บที่ 1 น้ำกรองผ่านเม็ดพลาสติกที่ 25 ซม.ชั้นบนสุดของเม็ดพลาสติก
จุดเก็บที่ 2 น้ำกรองผ่านเม็ดพลาสติกที่ 70 ซม.ชั้นบนสุดของเม็ดพลาสติก
จุดเก็บที่ 3 น้ำกรองผ่านเม็ดพลาสติกที่ 115 ซม.ชั้นบนสุดของเม็ดพลาสติก

3. การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำตัวอย่าง

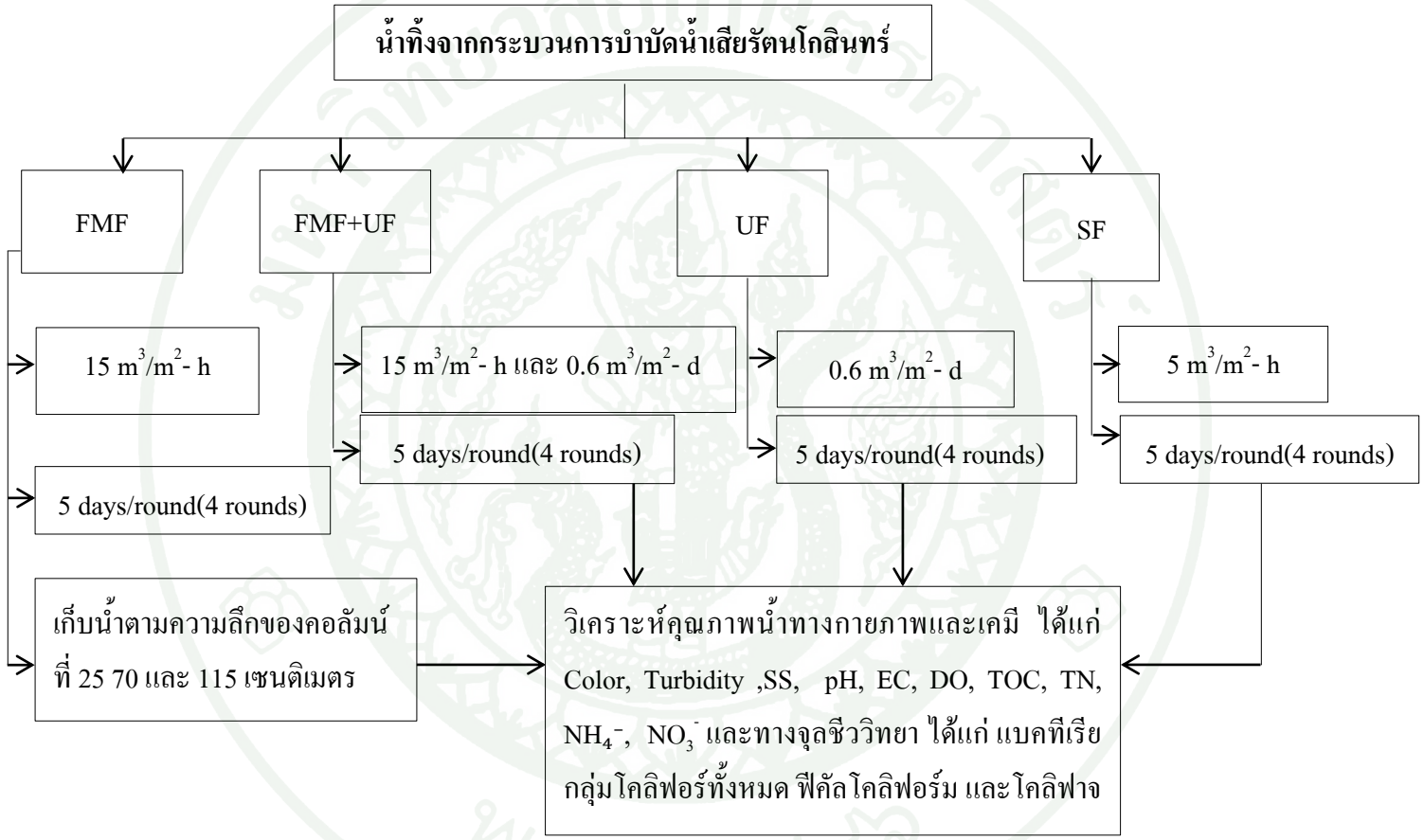
3.1 ศึกษาคุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมี

ดัชนีที่ทำการตรวจวัด ได้แก่ สารแขวนลอย สี ความขุ่น พีเอช สภาพการนำไฟฟ้า ออกซิเจนละลายน้ำ ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนีย และ ไนเตรท

3.2 ศึกษาคุณภาพน้ำทางจุลชีววิทยา

ดัชนีที่ทำการตรวจวัดได้แก่ แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด ฟีคัลโคลิฟอร์ม และโคลิฟาจโดยทำการวิเคราะห์ทุกครั้งในแต่ละช่วงของการทดลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 9 แผนผังการทดลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. การทดสอบไบโอฟิลม์/ ชีวมวลในเม็ดพลาสติกที่ใช้ในระบบตัวกลางแขวนลอย

4.1 วิเคราะห์หาปริมาณไบโอฟิล์ม/ ชีวมวล

4.1.1 ทำการเก็บเม็ดพลาสติกที่อยู่ในระบบตัวกลางแขวนลอยที่ปกคลุมไปด้วยอนุภาคของตะกอน และสารแขวนลอยต่างๆเป็นจำนวนมาก

4.1.2 นำเม็ดพลาสติกจำนวน 1g ไปอบที่อุณหภูมิ 50^{0}ซ เป็นระยะเวลา 3 วัน เพื่อหาไบโอฟิล์มที่เกิดขึ้นบนเม็ดพลาสติก โดยทำการชั่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นจากเม็ดพลาสติกเปล่า

4.2 วิเคราะห์แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด ฟีคัลโคลิฟอร์ม และโคลิฟาจ

4.2.1 เม็ดพลาสติกที่เก็บมาจากระบบตัวกลางแขวนลอย บางส่วนมาวิเคราะห์หาปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด ฟีคัลโคลิฟอร์ม และโคลิฟาจ

4.2.2 นำเม็ดพลาสติกมาสกัดเอาชีวมวลออก โดยนำมาแช่ในสารละลาย 0.85 % NaCl ปราศจากเชื้อ

4.2.3 ทำการสกัดอนุภาคบนเม็ดพลาสติกออก โดยใช้เครื่องอัลตร้าโซนิคเป็นเวลา 5 นาทีจากนั้นนำไปแยกอนุภาคออกโดยปั่นให้ตกตะกอนโดยเครื่องเหวี่ยง (centifuge) ที่ความเร็วรอบ 9,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้อนุภาคบนเม็ดพลาสติกเกิดการตกตะกอน น้ำส่วนใสมาวิเคราะห์หาแบคทีเรียดังกล่าว

4.2.4 ปิเปตดูดตะกอนที่ได้ที่ก้นหลอด ทำการกรองผ่าน cellulose acetate membrane (0.45 μm) บรรจุอยู่ภายในตัวกรองที่มีลักษณะคล้ายลูกข่างที่ต้องปราศจากเชื้อ จากนั้นทำการวิเคราะห์ตามขั้นตอนของการวิเคราะห์หาโคลิฟาจ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. การทดสอบไบโอฟิลม์/ ชีวมวลบนผิวหน้าของเยื่อกรองอัลต้าฟิลเตรชั่น

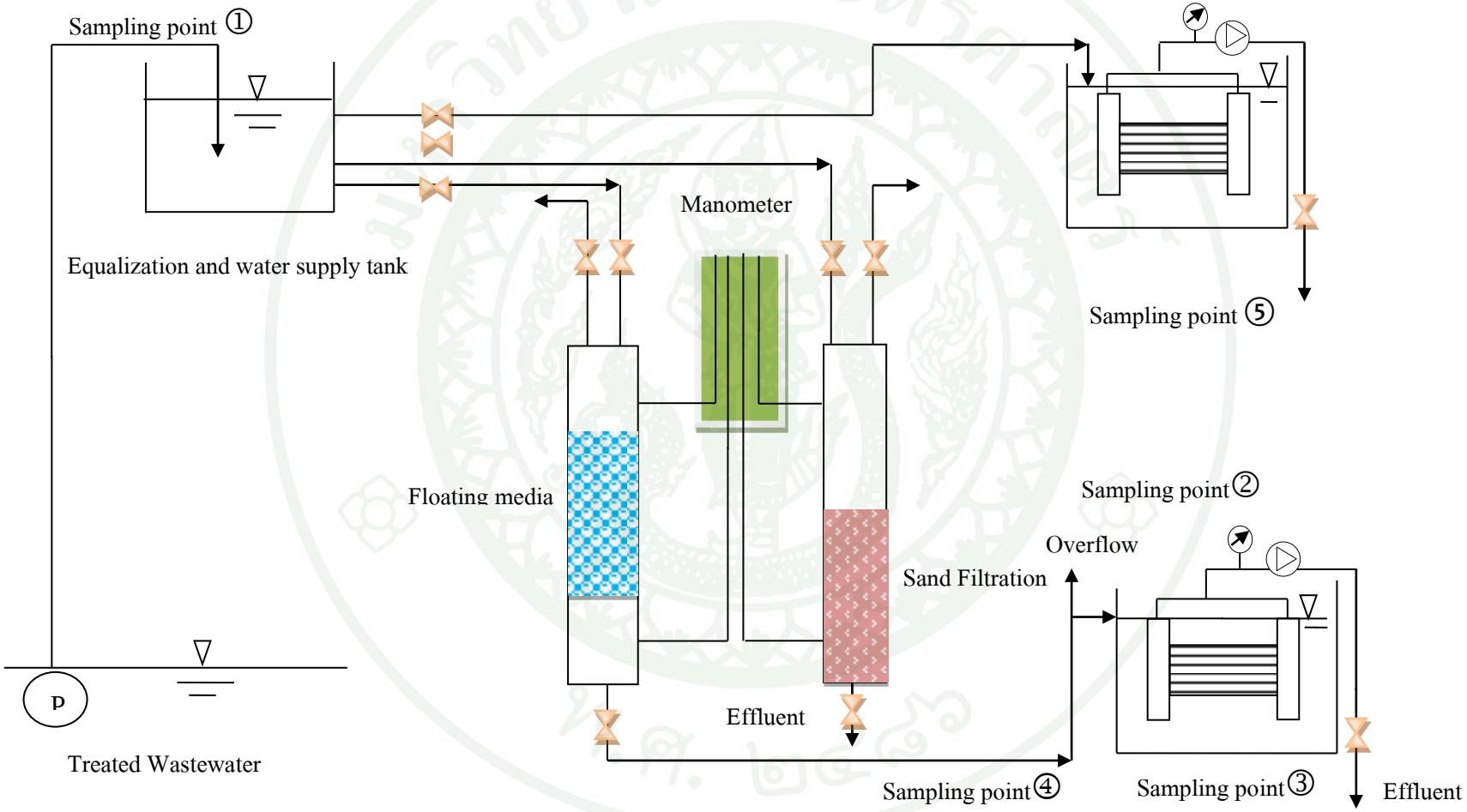
5.1 วิเคราะห์หาปริมาณไบโอฟิล์ม/ ชีวมวล

สำหรับเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นทำการวิเคราะห์โดยใช้น้ำที่ได้จากการล้างย้อนระบบเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นมาหาไบโอฟิล์ม/ชีวมวลที่เกิดขึ้นจากการเดินระบบโดยทำการกรองน้ำปริมาณ 200 ml จากนั้นทำการอบกระดาษกรองที่มีตัวอย่างรวมอยู่ด้วยที่อุณหภูมิ 105 ^{0}ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และทำการชั่งน้ำหนักกระดาษกรองที่เพิ่มขึ้นจากกระดาษกรองเปล่า

5.2 วิเคราะห์แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด ฟีคัลโคลิฟอร์ม และโคลิฟาจ

การวิเคราะห์หาแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดและฟีคัลโคลิฟอร์ม ใช้วิธีการเดียวกับการหาปริมาณเชื้อในน้ำตัวอย่าง (ดังภาคผนวก ง) และในการวิเคราะห์หาโคลิฟาจในน้ำล้างย้อนของระบบนำน้ำที่ได้มากรองผ่าน cellulose acetate membrane (0.45 μm) วางบนอาหารเลี้ยงเชื้อแบบ Selective media ทำการบ่มภายใต้อุณหภูมิ 44.5^{0}ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และตรวจนับจำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้นบนแผ่นเยื่อกรองให้โคโลนีสีน้ำเงิน สำหรับการวิเคราะห์หาโคลิฟาจ ดังกล่าวใช้วิธีการเดียวกับการวิเคราะห์หาโคลิฟาจในน้ำตัวอย่างของระบบต่างๆ (ดังภาคผนวก ข)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 10 แผนภาพแสดงการทดลองระบบกรอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6. การหาปริมาณอีโคไลที่ก่อโรคจากตัวอย่างน้ำและการทดสอบทางซีโรวิทยา

เนื่องจากในการประเมินความเสี่ยงนั้นปริมาณอีโคไลที่ก่อโรคจะใช้ในการคำนวณจึงต้องทำการทดสอบทางซีโรวิทยา เพื่อยืนยันว่าอีโคไลนั้นมีแอนติเจนที่เป็นพิษอยู่ ในการยืนยันโคโลนีที่เลือกมานั้นเป็น *E.coli* มีขึ้นตอนแรกของการทดสอบคุณสมบัติทางชีวเคมี (IMVic test) ดังต่อไปนี้

6.1 ทำการPick up โคโลนีเดี่ยวๆสีน้ำเงินบนอาหาร chromocult

6.2 ถ่ายเชื้อลง TS broth โดย 1โคโลนี/1หลอด TS broth

6.3 บ่มภายใต้อุณหภูมิ 37^0ซ เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง

6.4 หลอดที่เชื้อขึ้น นำมาทดสอบยืนยันว่าใช้อีโคไลด้วยการทดสอบคุณสมบัติทางชีวเคมี (IMVic test) ประกอบด้วยการทดสอบ 4 ปฏิกิริยา

6.4.1 ทำการถ่ายเชื้อจาก TS broth ไปใส่ในอาหาร MR-VP (Methyl red and Voges – proskauer test) Simmon citrate และ Tryptone water

6.4.2 บ่มภายใต้อุณหภูมิ 37^0ซ เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง

6.4.3 จากนั้นทำการเช็คผล หลอด TS broth ที่เป็นอีโคไล ให้ทำการถ่ายเชื้อ ลงใน TS broth ใหม่ บ่มภายใต้อุณหภูมิ 37^0ซ เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง

6.4.4 นำผลที่ได้จากการทดสอบดังกล่าว มาทดสอบทางซีโรวิทยาได้ (ภาคผนวก ง)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7. การคำนวณของความเสี่ยงในการเกิดโรคต่อคน

โดยใช้แบบจำลอง QMRA ในการประเมินโอกาสและความเสี่ยงในการเกิดโรค ใช้น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดน้ำของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ เดินระบบ 24 ชั่วโมง ระบบทรายกรอง เดินระบบ 6 ชั่วโมง และระบบตัวกลางแขวนลอย เดินระบบ 24 ชั่วโมงโดยใช้ 2 โมเดลที่เกี่ยวข้องกับเชื้อ *E.coli* ก่อโรค ได้แก่ โมเดล Exponential และ โมเดล Beta Poisson

8. วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

ตารางที่ 9 แสดงวิธีวิเคราะห์ที่ใช้ในการตรวจวัดดัชนีต่างๆในการทดลอง

Parameter	Method
pH	pH meter
Color	Spectrophotometer
Turbidity(NTU)	Turbidity meter
EC(µs/cm)	Conductivity meter
DO(mg/l)	Azide Modification
TOC(mg/l)	เครื่อง TOC-V_{CSH} (Shimadzu)
TN(mg/l)	เครื่อง TNM-1(Shimadzu)
NH_4–N(mg/l)	Phenate (Colorimetric method)
NO_3^- - N(mg/l)	Brucine (Colorimetric method)
Total Coliform and Fecal Coliform	Membrane filtration
Coliphage	Double Layer Agar

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สถานที่ทำการวิจัย

บริเวณชั้น 3 โรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ กรุงเทพมหานคร

ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระยะเวลาทำการวิจัย

เริ่มทำการวิจัย ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2554 และ สิ้นสุดเดือนธันวาคม 2555 รวมระยะเวลาทั้งสิ้นประมาณ 1 ปี 7 เดือน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบประสิทธิภาพของระบบทรายกรอง ระบบตัวกลางแขวนลอย ระบบตัวกลางแขวนลอยร่วมกับเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น และ ระบบเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น ในการกำจัดปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด ฟีคัลโคลิฟอร์ม และ โคลิฟาจ เพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดโรคต่อมนุษย์เมื่อมีการนำน้ำไปใช้ประโยชน์

แหล่งเงินทุนสนับสนุน

โครงการศึกษาความเหมาะสมของการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดกลับมาใช้ประโยชน์ของกรุงเทพมหานคร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

1. ลักษณะสมบัติของน้ำทางกายภาพและเคมี

1.1 น้ำเข้าระบบ (น้ำที่ผ่านการบำบัดจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ กรุงเทพมหานคร)

เมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพของน้ำเข้าระบบ พบว่า มีค่าความขุ่นและสีเฉลี่ยอยู่ในช่วง10.82 NTU และ 1.71 S.U ตามลำดับประกอบกับการพิจารณาคุณภาพน้ำทางเคมี พบว่า ค่าสภาพการนำไฟฟ้าและพีเอช มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 391.62 µs/cm และ 7.65 ตามลำดับ ค่าออกซิเจนละลายน้ำและสารแขวนลอย พบว่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.35 mg/l และ 17.41 mg/l ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาสารประกอบไนโตรเจน ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด ไนเตรท และแอมโมเนีย พบว่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.62 mg/l 2.30 mg/l และ 2.28 mg/l ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่าปริมาณคาร์บอนทั้งหมด พบว่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.82 mg/l แสดงในตารางที่ 10

กล่าวโดยสรุปได้ว่าพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ออกจากระบบบำบัดทั้งหมด ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งชุมชนของประเทศไทย และเมื่อนำมาเทียบกับเกณฑ์การนำน้ำไปใช้ประโยชน์ในต่างประเทศโดยพิจารณาถึงคุณลักษณะของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด ทั้งทางด้านชีวภาพ และทางด้านเคมีหรือกายภาพ เช่น มาตรฐานคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ของญี่ปุ่น ได้กำหนดเกณฑ์เป็น 2 ระดับ คือ น้ำที่ผ่านการบำบัดเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ที่คนไม่สัมผัสและน้ำทิ้งเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ที่เป็นไปได้ในการสัมผัส ซึ่งค่าพารามิเตอร์ของการนำน้ำไปใช้ประโยชน์ที่คนไม่สัมผัส มีค่าพารามิเตอร์ กำหนดไว้ดังต่อไปนี้ บีโอดี $\leq$10 mg/l พีเอช5.8 -8.6 ความขุ่น $\leq$10NTU กลิ่น ไม่มีกลิ่นเหม็น และสี $\leq$40 (นพรัตน์, 2554) พบว่า คุณภาพทางเคมีของน้ำที่ออกจากระบบบำบัดทั้งหมดนั้นสามารถจัดอยู่ในระดับของน้ำที่ผ่านการบำบัดเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ที่คนไม่สัมผัส แต่ไม่สามารถนำน้ำไปใช้ประโยชน์ที่มีโอกาสในการสัมผัส เพราะค่าคุณภาพน้ำทางเคมีของน้ำที่ออกจากระบบบำบัดบางพารามิเตอร์ เช่น ความขุ่นของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าเกินกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดไว้ คือ $\leq$ 5 NTU เพราะฉะนั้นน้ำดังกล่าวที่ออกจากระบบสามารถนำไปใช้ประโยชน์ที่คนไม่สามารถสัมผัสได้เท่านั้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.2 น้ำผ่านระบบทรายกรอง เมื่อเดินระบบ 6 ชั่วโมง

น้ำที่ผ่านระบบทรายกรองที่อัตราการกรอง 5 m^3/m^2-h หลังจากการเดินระบบ 6 ชั่วโมง พบว่า มีลักษณะคุณภาพน้ำทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความขุ่นและสี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.23 NTU และ 1.01 S.U ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าน้ำเมื่อผ่านระบบทรายกรองค่าความขุ่นและสีลดลงโดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นและสี ร้อยละ 89 และ 41 ตามลำดับ

การกำจัดความขุ่นและสีในระบบทรายกรอง อาศัยการทำงานผสมผสานระหว่างกลไกต่างๆ (Huisman, 1982) เช่น กลไกการกรองเชิงกล (Mechanical straining) กลไกการกรองแบบตกตะกอน (Sedimentation) และ กลไกการกรองแบบการชน (Impaction) เป็นต้น โดยเริ่มจากขนาดของสารแขวนลอยกับช่องว่างของทรายเมื่อสารแขวนลอยไหลผ่านชั้นของทรายที่มีขนาดช่องว่างระหว่างเม็ดทรายน้อยกว่าขนาดของสารแขวนลอย ทำให้สารแขวนลอยติดค้างอยู่บนชั้นของทราย ไม่สามารถไหลผ่านชั้นทรายไปได้ และเมื่อมีการสะสมของสารแขวนลอยจำนวนมากทำให้ช่องว่างของทรายยิ่งมีขนาดเล็กลงจากเดิม ขณะเดียวกันสารแขวนลอยที่สะสมอยู่บนชั้นทรายก็จะถูกกำจัดไปด้วย ทำให้ระบบสามารถกำจัดความขุ่นและสีได้

เมื่อพิจารณาลักษณะคุณภาพน้ำทางเคมี พบว่า ค่าสารแขวนลอย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.34 mg/l แสดงให้เห็นว่าระบบทรายกรองมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอยได้ดีถึงร้อยละ 87 พารามิเตอร์ทางเคมีอื่นๆ อาทิเช่น กลุ่มสารประกอบไนโตรเจน ได้แก่ ไนเตรท แอมโมเนีย และไนโตรเจนทั้งหมด พบว่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.04 mg/l 1.79 mg/l และ 5.67 mg/l ตามลำดับซึ่งค่าที่ได้แสดงให้เห็นว่าระบบทรายกรองสามารถกำจัดสารประกอบไนโตรเจนอย่างสม่ำเสมอตลอดระยะเวลา 6 ชั่วโมงของการเดินระบบ ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด มีค่าอยู่เท่ากับ6.33 mg/l ระบบสามารถกำจัดปริมาณคาร์บอนได้ร้อยละ 19 อย่างไรก็ตามค่าออกซิเจนละลายน้ำเมื่อเดินระบบเป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง พบว่า ค่าที่ได้ลดลงจาก 7.35 mg/l เป็น 6.38 mg/l

ค่าที่ได้จากการทดลองของระบบทรายกรองเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยของประสิทธ์ วัฒนปรีชาธรรม (2554) ที่ได้ทำการศึกษาในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ โดยใช้น้ำที่ผ่านการบำบัดเป็นน้ำเข้าของระบบเช่นเดียวกัน สามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นและสี มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นร้อยละ 29.5- 69.1 และประสิทธิภาพในการกำจัดสี ร้อยละ 32.9 - 58.9 เป็นต้น ค่าที่ได้จากการทดลองดังกล่าวอยู่ในช่วงเดียวกับค่าในรายงานวิจัยที่ผ่านมา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.3 น้ำผ่านระบบตัวกลางแขวนลอยเมื่อเดินระบบ 6 ชั่วโมง

น้ำที่ผ่านระบบตัวกลางแขวนลอยที่อัตราการกรอง 15 m^3/m^2-h เดินระบบ6 ชั่วโมง พบว่า ค่าเฉลี่ยความขุ่นและสี มีค่าเท่ากับ 3.58 NTU และ 1.34 S.U ตามลำดับแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นและสีของระบบตัวกลางแขวนลอยได้ถึงร้อยละ 67 และ 21 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบทรายกรอง พบว่า ระบบตัวกลางแขวนลอยมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นและสีน้อยกว่าระบบทรายกรอง ทั้งนี้เป็นเพราะขนาดของตัวกลาง (O'Melia and Stumm, 1969) ที่เป็นเม็ดพลาสติกมีขนาดช่องว่างและรูพรุนใหญ่กว่าเม็ดทราย ทำให้อนุภาคของสารต่างๆสามารถหลุดลอดออกมาได้กับน้ำที่ออกจากระบบ

ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทางเคมีของระบบตัวกลางแขวนลอย พบว่า ค่าสารแขวนลอย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.60 mg/l ระบบสามารถกำจัดสารแขวนลอย ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 68 นอกจากนี้ระบบยังสามารถกำจัดพารามิเตอร์อื่นๆได้ดี อาทิเช่น ค่าสารประกอบไนโตรเจน มีค่าเฉลี่ยของไนเตรทและแอมโมเนีย เท่ากับ 2.08 mg/l และ 1.82 mg/l คิดเป็นร้อยละ 10 และ 20 ตามลำดับและค่าไนโตรเจนทั้งหมด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.79 mg/l และค่าปริมาณคาร์บอนทั้งหมด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.30 mg/l ระบบสามารถกำจัดปริมาณคาร์บอนได้เมื่อเปรียบเทียบกับระบบทรายกรอง พบว่า ระบบทรายกรองมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอย และกลุ่มของสารประกอบไนโตรเจน ได้ดีกว่าระบบตัวกลางแขวนลอย ทั้งนี้เป็นเพราะกลไกที่เกิดขึ้นในกระบวนการของระบบทรายกรองและระบบตัวกลางแขวนลอย ลักษณะของตัวกลางที่นำมาใช้ รวมทั้งปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพของอนุภาคที่เกิดขึ้นบนตัวกลางแตกต่างกัน ส่งผลให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดที่แตกต่างกัน

การกรองของระบบตัวกลางแขวนลอยที่เกิดขึ้นอาศัยหลักการของกระบวนการกรองสัมผัส ทั้งนี้ประสิทธิภาพของการกรองขึ้นอยู่กับตัวกลางเป็นปัจจัยหลัก โดย O'Melia and Stumm (1969) ได้กล่าวว่า หลักการของระบบตัวกลางแขวนลอย จะอาศัยตัวกลางซึ่งมีการทำงานต่อเนื่อง 2 กลไก คือ การเคลื่อนย้ายของสารแขวนลอยเข้าสู่ตัวกลางและกลไกการทำให้สารแขวนลอยเกาะอยู่กับตัวกลาง ทั้งนี้อัตราการกรองมีผลทำให้ระบบตัวกลางแขวนลอยมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นได้น้อยกว่าระบบทรายกรอง ที่อัตราการกรองสูงทำให้น้ำที่กรองได้มีตะกอนความขุ่นหลุดลอดออกมาจากระบบได้ (สุนทรี, 2550)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.4 น้ำผ่านระบบตัวกลางแขวนลอยร่วมกับเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น

เมื่อเดินระบบตัวกลางแขวนลอยที่ 15 m^3/m^2-hร่วมกับเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นที่อัตราการกรอง 0.6 m^3/m^2- d เดินระบบ 6 ชั่วโมง พบว่า ระบบตัวกลางแขวนลอยทำหน้าที่ในการกำจัดความขุ่นและสารแขวนลอยเบื้องต้นก่อนไปสู่ระบบเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นซึ่งสามารถป้องกันการอุดตันของเยื่อกรองและลดการล้างย้อนของระบบเยื่อกรองได้ด้วย ให้การใช้งานของระบบเยื่อกรองมีระยะเวลานานขึ้น

คุณภาพน้ำทางกายภาพ พบว่า ค่าความขุ่นและสี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ0.70 NTU และ 1.08 S.U ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นและสี ร้อยละ 94 และ37 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าระบบตัวกลางแขวนลอยร่วมกับเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นและได้เพิ่มขึ้น

คุณภาพน้ำทางเคมี พบว่า ค่าสารแขวนลอย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ0.90 mg/l เพราะฉะนั้นระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอยสูงถึงร้อยละ 95ค่าออกซิเจนละลายน้ำ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.29 mg/l และค่าปริมาณคาร์บอนทั้งหมด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.06 mg/l ค่าสารประกอบไนโตรเจน พบว่า ค่าไนเตรทและแอมโมเนีย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ2.10 mg/l และ 1.87 mg/l ตามลำดับ ค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ5.33 mg/l

จะสังเกตเห็นได้ว่าการทำงานร่วมกันของระบบตัวกลางแขวนลอยร่วมกับเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น สี และสารแขวนลอยได้ดีถึงร้อยละ 94 37 และ 95 ตามลำดับ เพราะอนุภาคของสารแขวนลอยต่างๆถูกกำจัดในระบบตัวกลางแขวนลอยและยังถูกดักไว้บนผิวหน้าของเยื่อกรองอีกด้วย ซึ่งบนผิวหน้าของเยื่อกรองจะมีการสะสมของอนุภาค และจุลินทรีย์เป็นเวลานาน เมื่อจุลินทรีย์ตายลงมีการขับสารประกอบโปรตีน ทำให้น้ำที่ออกจากระบบมีปริมาณกลุ่มของสารประกอบไนโตรเจนสูงกว่าระบบทรายกรองและระบบตัวกลางแขวนลอยได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.5 น้ำผ่านเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นโดยตรง

เมื่อเดินระบบเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นที่อัตราการกรอง0.6 m^3/m^2- d เป็นเวลา16 ชั่วโมง พบว่า ค่าความขุ่น และสี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.74 NTU และ 1.21 S.U ตามลำดับ มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นและสี ร้อยละ 93 และ 29 ตามลำดับ

คุณภาพน้ำทางเคมี พบว่า ค่าสารแขวนลอย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ1.17 mg/l ประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอย ร้อยละ 93 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ6.48 mg/l และค่าปริมาณคาร์บอนทั้งหมด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ7.49 mg/l สารประกอบไนโตรเจน พบว่า ค่าไนเตรทและแอมโมเนีย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ2.20 mg/l และ 2.23 mg/l และค่าไนโตรเจนทั้งหมด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.15 mg/l สรุปได้ว่า ระบบเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นและสารแขวนลอยได้ดี เมื่อเทียบกับระบบทรายกรองและระบบตัวกลางแขวนลอยเพียงอย่างเดียว แต่ระบบเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นและสารแขวนลอยต่ำกว่าระบบตัวกลางแขวนลอยร่วมกับเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น

อย่างไรก็ตามค่าสภาพการนำไฟฟ้าและค่าพีเอชของระบบมีค่าไม่แตกต่างจากน้ำเข้าระบบและน้ำผ่านระบบดังกล่าวทั้งนี้ เพราะ ขนาดของช่องเปิด 0.05 μm ไม่สามารถดักไอออนต่างๆได้(ณัฐพงศ์, 2540) แต่สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยและแบคทีเรียโคลิฟอร์มออกจากน้ำ เนื่องจากมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าช่องเปิด (Tay and Jeyaseelan, 1995)

2. ลักษณะสมบัติของน้ำทางกายภาพและเคมี กรณีเดินระบบ 24 ชั่วโมง

2.1 น้ำเข้าระบบ

คุณภาพน้ำทางกายภาพ พบว่า ค่าความขุ่นและสี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17 NTU และ 2.67 S.U ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาคุณภาพน้ำทางเคมี พบว่า ค่าสารแขวนลอย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 36.2 mg/l มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าและพีเอช เฉลี่ย 369μs/cm และ 7.06ตามลำดับค่าออกซิเจนละลายน้ำ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.4 mg/l และค่าไนเตรทและแอมโมเนีย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.96 mg/l และ 2.64 mg/l ตามลำดับ ไนโตรเจนทั้งหมด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.69 mg/l นอกจากนี้ยังมีค่าปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในน้ำเข้าระบบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.69 mg/l

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมื่อนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับการเดินระบบ 6 ชั่วโมง พบว่าความขุ่น สี และปริมาณสารแขวนลอย ที่พบในน้ำที่ออกจากระบบบำบัดของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ มีค่าแตกต่างกัน เนื่องจาก ระยะเวลาในการเดินระบบที่นานขึ้น ส่งผลให้ปริมาณอนุภาคและสารแขวนลอยในระบบมีมากขึ้น ทำให้ค่าดังกล่าวมีค่าสูงกว่าการเดินระบบ 6 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง อาทิเช่น ลักษณะของน้ำหลังจากการบำบัด ช่วงระยะเวลาที่ทำการเดินระบบ และสภาพอากาศที่แปรปรวน เป็นต้น อย่างไรก็ตามค่าอื่นๆที่ทำการวิเคราะห์มีค่าใกล้เคียงกับการเดินระบบ 6 ชั่วโมง

2.2 น้ำผ่านระบบตัวกลางแขวนลอย

ลักษณะคุณภาพน้ำทางกายภาพเมื่อเดินระบบที่อัตราการกรอง 15 m^3/m^2-h 24 ชั่วโมง พบว่า ความขุ่นและสี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.07 NTU และ 1.33 S.U ตามลำดับ มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นและสี ร้อยละ 82 และ 50 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อเดินระบบนานขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นและสีมีประสิทธิภาพมากกว่าการเดินระบบ 6 ชั่วโมงเพราะ เมื่อน้ำไหลผ่านเข้าสู่ระบบตัวกลางแขวนลอยต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง ทำให้อนุภาค กลุ่มของตะกอน และสารแขวนลอยต่างๆ มีโอกาสในการสัมผัส เกาะติดและดูดซับอยู่บนตัวกลางแขวนลอย (Chiemchaisri et al., 2011) เป็นกลุ่มก้อน และเกาะตัวกันแน่นบนเม็ดพลาสติก ทำให้เกิดการสกัดกั้นอนุภาคและสารแขวนลอยต่างๆในน้ำไม่ให้สามารถผ่านไปได้ ส่งผลให้ระบบสามารถกำจัดความขุ่นและสีได้ดีขึ้น

ลักษณะคุณภาพน้ำทางเคมี พบว่า สารแขวนลอย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.95 mg/l ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอย ร้อยละ 84 ข้อดีของการเดินระบบที่นานขึ้นทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอยมากขึ้น เพราะ กลุ่มของอนุภาคและสารแขวนลอยต่างๆ ขนาดใหญ่ถูกเก็บกักไว้ในช่องว่างของชั้นกรองและเกิดการสะสมของอนุภาคชั้นบนสุดของระบบตัวกลางแขวนลอย (ทิพย์สุรีย์, 2546) เป็นกลุ่มก้อนตะกอนขนาดใหญ่อยู่เป็นจำนวนมาก ตัวกลางทำหน้าที่ในการกรองอนุภาคที่มากับน้ำและขัดขวางไม่ให้อนุภาคและสารแขวนลอยต่างๆผ่านไปได้ และข้อดีอีกประการหนึ่งของระบบตัวกลางแขวนลอย คือ สามารถลดการ loading ของอนุภาคของแข็ง และลดความดันสูญเสียในระบบ (Chiemchaisir *et al.,* 2005)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมื่อพิจารณาค่าออกซิเจนละลาย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ4.8mg/l ดังนั้น ปริมาณออกซิเจนที่หลงเหลืออยู่ในระบบคิดเป็นร้อยละ 20เพราะ การเดินระบบที่นานขึ้นส่งผลให้เกิดสภาวะที่แบคทีเรียใช้ออกซิเจนจนกระทั่งเหลือออกซิเจนอยู่ในระบบน้อย และสภาพการนำไฟฟ้าและพีเอชของน้ำที่ออกจากระบบตัวกลางแขวนลอย มีค่าไม่แตกต่างจากน้ำเข้าระบบที่ 24 ชั่วโมง

เมื่อพิจารณาสารประกอบไนโตรเจน พบว่า ไนเตรทและแอมโมเนีย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.85 mg/l และ2.07 mg/lตามลำดับแสดงให้เห็นว่าระบบตัวกลางแขวนลอยสามารถกำจัดไนเตรทได้เพียงร้อยละ 3.72 แต่สามารถกำจัดแอมโมเนียได้ถึงร้อยละ 22 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ4.46 mg/l เพราะฉะนั้นระบบตัวกลางแขวนลอยมีประสิทธิภาพในการกำจัดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพียงร้อยละ 21เทียบกับการเดินระบบที่ 6 ชั่วโมง พบว่า การเดินระบบ 24 ชั่วโมงส่งผลถึงประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียได้ดีและเมื่อพิจารณาปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในน้ำที่ออกจากระบบ พบว่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.57 mg/l มีค่าไม่แตกต่างจากปริมาณคาร์บอนในน้ำเข้า แสดงว่า การย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนเกิดขึ้นได้ต่ำในระบบนี้

2.3 น้ำผ่านระบบตัวกลางแขวนลอยร่วมกับเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นที่อัตราการกรอง 0.6 m^3/m^2- d เดินระบบต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง

เมื่อการเดินระบบตัวกลางแขวนลอย 15 m^3/m^2- h และเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นที่อัตราการกรอง 0.6 m^3/m^2- d ต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง พบว่า คุณภาพน้ำทางกายภาพ คือ ความขุ่นและสี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.85 NTU และ 0.94 S.U ตามลำดับ ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นและสี ร้อยละ 95 และ 65 ตามลำดับ

พิจารณาคุณภาพน้ำทางเคมี พบว่า สารแขวนลอย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ0.7 mg/l แสดงให้เห็นว่าระบบดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอยออกจากระบบได้ดีถึงร้อยละ 98 เพราะระบบตัวกลางแขวนลอย ทำหน้าที่ในการกรองน้ำเบื้องต้น สกัดกั้นสารแขวนลอยและอนุภาคต่างๆในระบบ ทำให้ลดปริมาณสารแขวนลอยแก่เยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น นอกจากนี้เมื่อเดินระบบนานขึ้นทำให้ค่าออกซิเจนละลายสูงขึ้น เพราะเนื่องจากน้ำที่เข้าสู่ระบบเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นได้ผ่านระบบตัวกลางแขวนลอยก่อน ซึ่งทำหน้าที่กักเก็บอนุภาคขนาดใหญ่ไว้ แต่ยังคงมีบางส่วนที่สามารถหลุดลอดออกมาได้และเมื่อมาผ่านเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นที่มีขนาดของช่องเปิดของเยื่อกรองมีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน ทำให้สามารถกำจัดสารคอลลอยด์ชนิดต่างๆได้ดีมากยิ่งขึ้น เช่น อนุภาค และสารแขวนลอย เป็นต้น รวมทั้งสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ (จิตรลดา, 2546)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

น้ำที่ผ่านระบบเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นจึงเป็นน้ำที่สะอาด ปราศจากสารแขวนลอยต่างๆ และมีปริมาณออกซิเจนละลายอยู่ในน้ำมากกว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบอื่นๆ เพราะ ผ่านการบำบัดถึง 2 ระบบด้วยกันซึ่งพบว่าค่าออกซิเจนละลายที่ออกจากระบบ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.42 mg/l

ค่าไนเตรทและแอมโมเนีย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.28 mg/l และ 1.38 mg/lตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดไนเตรทและแอมโมเนีย ร้อยละ 23 และ 48 ตามลำดับ ค่าไนโตรเจนทั้งหมด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.08 mg/l ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด ร้อยละ34 และค่าปริมาณคาร์บอนทั้งหมด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.04 mg/l ประสิทธิภาพในการกำจัดปริมาณคาร์บอนทั้งหมด ร้อยละ 22

เมื่อเทียบกับระบบตัวกลางแขวนลอยที่อัตราการกรอง 15 m^3/m^2- h ต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง พบว่า น้ำที่ผ่านระบบตัวกลางแขวนลอยเข้าสู่ระบบเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น มีค่ากลุ่มสารประกอบไนโตรเจนลดลง เนื่องจาก ระบบตัวกลางแขวนลอยทำหน้าที่ กรองอนุภาคแขวนลอยกักเก็บอนุภาคขนาดใหญ่ไว้ ทำให้น้ำที่เข้าสู่ระบบเยื่อกรองมีคุณภาพที่ดีและเมื่อผ่านเยื่อกรองก็สามารถลดค่าต่างๆได้ อีกทั้งระยะเวลาในการเดินระบบที่นานขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารต่างๆดีขึ้นตามลำดับ

2.4 น้ำผ่านระบบเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นที่อัตราการกรอง 0.6 m^3/m^2- d

คุณภาพน้ำที่ออกจากระบบเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นเมื่อการเดินระบบที่อัตราการกรอง 0.6 m^3/m^2- d24 ชั่วโมง พบว่า ลักษณะคุณภาพน้ำทางกายภาพ ได้แก่ ความขุ่นและสี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.99 NTU และ 1.12 S.U. ตามลำดับ ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นและสี ร้อยละ 94และ 58 ตามลำดับ

คุณภาพน้ำทางเคมี พบว่า สารแขวนลอย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.5 mg/l ระบบเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอยถึงร้อยละ 96 การเดินระบบที่นานขึ้นค่าออกซิเจนละลายมีค่าลดลง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.32 mg/lเพราะอาจมีสาเหตุมาจากการอุดตันของเยื่อกรองบริเวณผิวหน้าของเยื่อกรอง ทำให้น้ำที่ผ่านระบบมีออกซิเจนละลายน้ำน้อย

ไนเตรทและแอมโมเนีย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.58 mg/l และ 1.62 mg/l ตามลำดับระบบมีประสิทธิภาพในการกำไนเตรทและแอมโมเนีย ร้อยละ13 และ 39 ตามลำดับ ค่าไนโตรเจนทั้งหมด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.26 mg/l ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าไนโตรเจนทั้งหมดร้อยละ19 และค่าปริมาณคาร์บอนทั้งหมด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ5.05 mg/l ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดปริมาณคาร์บอนทั้งหมด ร้อยละ 10

เมื่อเทียบกับระบบตัวกลางแขวนลอยร่วมกับเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นที่อัตราการกรองเดียวกัน คือ 0.6 m^3/m^2-d พบว่า คุณภาพน้ำหลังจากผ่านระบบเยื่อกรองดังกล่าว มีค่าทางกายภาพและเคมีใกล้เคียงกัน แต่ระบบที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการกำจัดสารต่างๆในระบบเยื่อกรอง คือ ระบบตัวกลางแขวนลอยร่วมกับเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น เพราะ เป็นระบบที่มีการบำบัดเบื้องต้นด้วยระบบตัวกลางแขวนลอยก่อน ทำให้อนุภาคและสารแขวนลอยต่างๆถูกกำจัดออกไปและยืดอายุการใช้งานของเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นให้นานขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 10 ผลเฉลี่ยการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี ตลอดระยะเวลา 4 เดือน (6 ชั่วโมงและ 24 ชั่วโมง)

Parameter	6 hr. (% Removal) ± SD				
	INF.	SF	FMF	FMF + UF	UF
Turbidity (NTU)	10.82 ± 6.78	1.27 (89) ± 0.28	3.58 (67) ± 1.95	0.70 (94) ± 0.15	0.74 (93) ± 0.12
Color (S.U.)	1.71 ± 0.41	1.06 (41) ± 0.11	1.34 (21) ± 0.28	1.08 (37) ± 0.51	1.21 (29) ± 0.27
EC (µs/cm)	391.62 ± 127.66	393.51 ± 104.44	396.28 ± 104.22	376.03 ± 89.39	335.85 ± 214.42
pH	7.65 ± 0.60	7.59 ± 0.43	7.69 ± 0.50	7.79 ± 0.38	7.43 ± 0.13
SS (mg/l)	17.41 ± 8.51	2.34 (87) ± 0.84	5.60 (68) ± 3.19	0.90 (95) ± 0.11	1.17 (93) ± 0.24
DO (mg/l)	7.35 ± 0.31	6.38 ± 0.53	6.86 ± 0.45	7.29 ± 0.29	6.48 ± 0.16
NO^{-}_{3} (mg/l)	2.30 ± 0.18	2.04 (11) ± 0.32	2.08 (10) ± 0.19	2.10 (9) ± 0.25	2.20 (4) ± 0.11
NH^{+}_{4} (mg/l)	2.27 ± 0.40	1.79 (21) ± 0.10	1.82 (20) ± 0.58	1.87 (18) ± 0.32	2.23 (2) ± 0.40
TN (mg/l)	5.62 ± 1.37	5.67 ± 2.22	5.79 ± 1.87	5.33 (5) ± 2.27	7.15 ± 033
TOC (mg/l)	7.82 ± 2.86	6.33 (19) ± 2.75	6.30 (19) ± 2.17	6.06 (23) ± 2.00	7.49 (4) ± 0.66

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 10 (ต่อ)

Parameter	24 hr. (% Removal) ± SD			
	INF.	FMF	FMF + UF	UF
Turbidity (NTU)	16.99 ± 9.19	3.07 (82) ± 1.10	0.85 (95) ± 0.32	0.99 (94) ± 0.48
Color (S.U.)	2.67 ± 2.10	1.33 (50) ± 0.48	0.94 (65) ± 0.31	1.12 (58) ± 0.36
EC (µs/cm)	369.10 ± 77.97	335.70 ± 30.03	307.86 ± 12.24	316.54 ± 12.36
pH	7.06 ± 0.23	7.09 ± 0.21	7.52 ± 0.27	7.22 ± 0.24
SS (mg/l)	36.2 ± 18.10	5.95 (84) ± 4.02	0.70 (98) ± 1.10	1.55 (96) ± 0.61
DO (mg/l)	6.40 ± 0.65	4.80 ± 0.46	7.42 ± 0.28	5.32 ± 0.35
NO^{-}_{3} (mg/l)	2.96 ± 1.29	2.85 (8) ± 1.04	2.28 (23) ± 0.93	2.58 (13) ± 1.82
NH^{+}_{4} (mg/l)	2.64 ± 0.16	2.07 (22) ± 0.57	1.38 (48) ± 0.43	1.62 (39) ± 0.80
TN (mg/l)	7.69 ± 0.44	7.57 (2) ± 0.58	5.08 (34) ± 1.22	6.26 (19) ± 1.35
TOC (mg/l)	5.63 ± 3.29	4.46 (21) ± 2.27	4.04 (28) ± 2.23	5.05 (10) ± 3.17

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. ผลการตรวจหาปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด ฟีคัลโคลิฟอร์มและโคลิฟาจ กรณีเดินระบบ 6 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง

3.1 น้ำเข้าระบบ (น้ำที่ผ่านการบำบัดจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ กรุงเทพมหานคร)

ผลของปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดในน้ำเข้าระบบที่ผ่านการบำบัดจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 604 CFU/100 ml และผลปริมาณเฉลี่ยของฟีคัลโคลิฟอร์ม เท่ากับ 577 CFU/100 ml รวมทั้งปริมาณโคลิฟาจในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12 PFU/ml

เมื่อนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับโรงบำบัดน้ำเสียในเขตกรุงเทพมหานครด้วยกัน พบว่า ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มและฟีคัลโคลิฟอร์มมีค่าน้อยกว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง ซึ่งพบปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม เท่ากับ 1.3×10^{6} MPN/100 ml และมีปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มอยู่ในช่วง $0.1 – 2.5 \times10^{6}$ MPN/100 ml (นพรัตน์, 2554) เพราะน้ำเสียที่รับเข้ามาบำบัดแตกต่างกัน โดยโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์รับน้ำเสียเข้ามาบำบัด 40,000 m^3/d มีปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมดอยู่ในช่วงตั้งแต่ 24,000 MPN/100 ml จนถึง 90,000 MPN/100 ml (ประสิทธิ์, 2554) ขณะเดียวกันโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง รับน้ำเสียเข้ามาวันละ 350,000 m^3/d ย่อมส่งผลถึงประสิทธิภาพในการบำบัด ทำให้ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด ฟีคัลโคลิฟอร์ม ถูกกำจัดแตกต่างกันตามปริมาณน้ำที่รับเข้ามาบำบัด

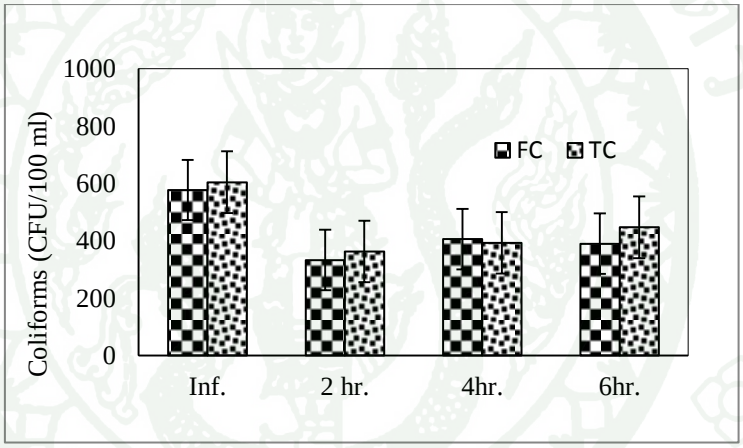
3.2 น้ำผ่านระบบทรายกรอง

ผลของปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดและฟีคัลโคลิฟอร์มในระบบทรายกรองที่อัตราการกรอง 5 m^3/m^2- h เดินระบบ 6 ชั่วโมง พบว่า ระบบทรายกรองมีประสิทธิภาพในการกำจัดกลุ่มแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดและฟีคัลโคลิฟอร์มค่อยๆลดลงตามระยะเวลาของการเดินระบบ กลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ42 – 32 และฟีคัลโคลิฟอร์มอยู่ในช่วงร้อยละ 40 - 26แสดงในภาพที่ 11 เนื่องจากมีปริมาณสารแขวนลอยที่อยู่บนผิวของชั้นกรองและปริมาณสารอินทรีย์ ทำให้สารอินทรีย์ในน้ำมีความเข้มข้นสูงบริเวณบนผิวของชั้นกรองซึ่งเป็นปัจจัยในการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย อย่างไรก็ตาม เมื่อระยะเวลาเดินระบบนานขึ้นจุลินทรีย์สามารถหลุดออกจากชั้นกรองออกมา เนื่องจากความพรุนของทรายกรองมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของจุลินทรีย์อยู่มาก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

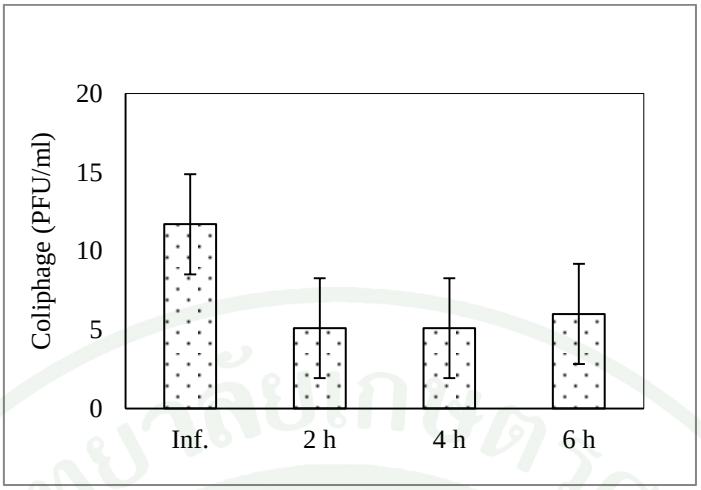
การกำจัดกลุ่มโคลิฟอร์มของระบบทรายกรองนั้นมีประสิทธิภาพต่ำกว่างานวิจัยก่อนหน้าที่รายงานว่าประสิทธิภาพในการกำจัดโคลิฟอร์มของระบบทรายกรองในช่วงร้อยละ 60.0 – 92.3 (ประสิทธิ์ วัฒนปรีชาธรรม, 2554)

สำหรับโคลิฟาจ พบว่า การกำจัดไวรัสเกิดขึ้นได้ดีใน 4 ชั่วโมงแรก ของการเดินระบบร้อยละ 54 แต่เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มให้ปริมาณไวรัสในระบบมีปริมาณสูงขึ้นในชั่วโมงที่ 6 ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดไวรัสลดลงเหลือร้อยละ 49 ดังแสดงในภาพที่ 12 ไวรัสอาศัยแบคทีเรียชนิดโคลิฟอร์มเป็นโฮสต์ เป็นการอาศัยแบบชั่วคราว (จิตรลดา, 2546) แต่เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มดังกล่าวค่อยๆลดลงตามระยะเวลาของการเดินระบบ ทำให้ไวรัสไม่มีที่เกาะติด ส่งผลให้ปริมาณไวรัสลดลงตามไปด้วย



ภาพที่ 11 ผลของการกำจัดแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดและฟีคัลโคลิฟอร์มในระบบทรายกรอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



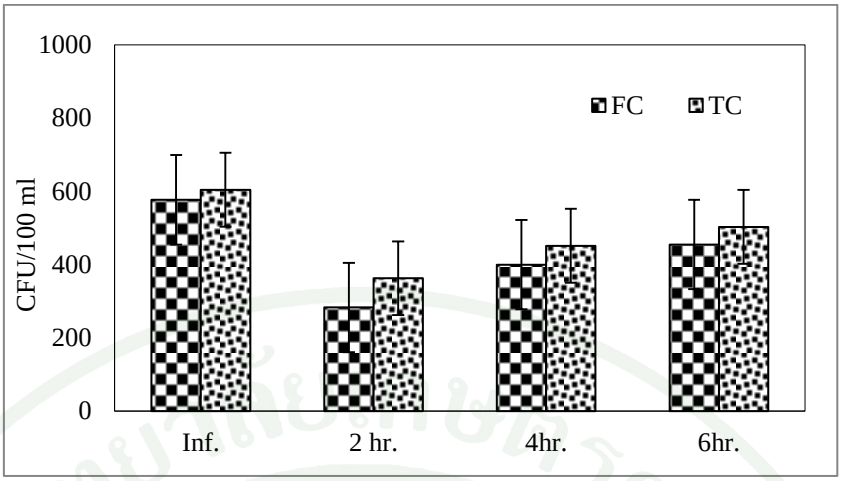
ภาพที่ 12 ผลของการกำจัดโคลิฟาจในระบบทรายกรอง

3.3 น้ำผ่านระบบตัวกลางแขวนลอย

ปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดและฟีคัลโคลิฟอร์มที่ออกจากระบบตัวกลางแขวนลอยที่อัตราการกรอง 15 m^3/m^2- h ระยะเวลาในการเดินระบบ 6 ชั่วโมง พบว่า ปริมาณเฉลี่ยของโคลิฟอร์มทั้งหมด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 503 CFU/ 100 mlและปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์ม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 455 CFU/ 100 ml

ตลอดระยะเวลาการเดินระบบ 6 ชั่วโมง ระบบตัวกลางแขวนลอยมีประสิทธิภาพในการกำจัดกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดและฟีคัลโคลิฟอร์มสูงสุดใน 2 ชั่วโมงแรกของการเดินระบบ หลังจากนั้นการกำจัดกลุ่มจุลินทรีย์ดังกล่าวมีแนวโน้มลดลงทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดร้อยละ 50 และฟีคัลโคลิฟอร์ม ร้อยละ 40 ตามลำดับ แสดงไว้ดังภาพที่ 13

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



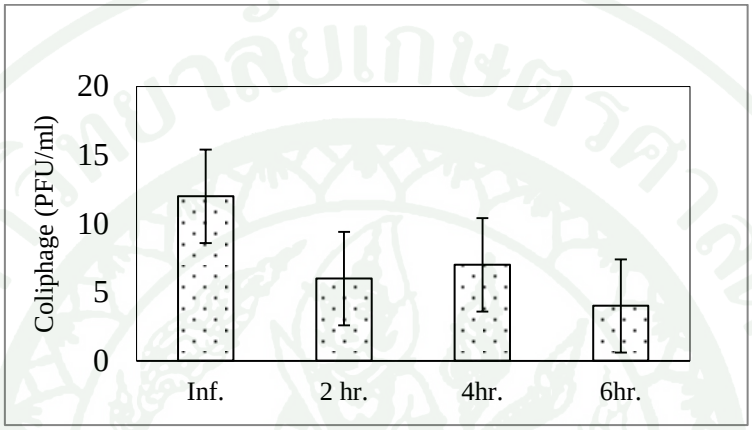
ภาพที่ 13 ผลของการกำจัดแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดและฟีคัลโคลิฟอร์มในระบบตัวกลางแขวนลอย ที่อัตราการกรอง 15 m^3/m^2- h เดินระบบ 6 ชั่วโมง

เมื่อเปรียบเทียบกับระบบทรายกรอง ที่อัตราการกรอง 5 m^3/m^2- h เดินระบบ 6 ชั่วโมง พบว่า ระบบทรายกรองสามารถกำจัดกลุ่มของโคลิฟอร์มได้ดีกว่า ทั้งที่อาจเนื่องจากอัตราการไหลของการกรองที่ต่ำกว่า จึงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดจุลินทรีย์ดีกว่า (Haiou *et al.,* 2012) เมื่อเทียบกับระบบตัวกลางแขวนลอยซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดกลุ่มโคลิฟอร์มแค่เพียงช่วงแรกของการเดินระบบเท่านั้น เพราะช่วงแรกของระบบตัวกลางแขวนลอย น้ำที่ถูกเติมเข้ามาในระบบยังไม่มีการสะสมของกลุ่มอนุภาค สารแขวนลอย และปริมาณสารอินทรีย์บนตัวกลาง แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไป การกำจัดจุลินทรีย์ในน้ำที่ผ่านระบบตัวกลางแขวนลอยเริ่มลดลง มีสาเหตุมาจากการสะสมของจุลินทรีย์บนตัวกลางที่มากขึ้นและหลุดลอดออกไปโดยกระบวนการเคลื่อนย้าย เป็นต้น (Metcalf and Eddy, 2003)

สำหรับโคลิฟาจ ระบบตัวกลางแขวนลอยที่อัตราการกรอง 15 m^3/m^2- h มีความสามารถในการกำจัดอนุภาคขนาดเล็กได้ดี เช่น ไวรัส (Chiemchaisri *et al.,* 2011)อย่างสม่ำเสมอตลอดระยะเวลา 6 ชั่วโมง พบว่า ปริมาณเฉลี่ยของโคลิฟาจที่พบในน้ำออกจากระบบ มีค่าเท่ากับ 4 PFU/ml เพราะฉะนั้นระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดไวรัสร้อยละ 64 แสดงไว้ ดังภาพที่ 14 ทั้งนี้ไวรัสจะเกาะติดบนอนุภาคของสารแขวนต่างๆที่สะสมอยู่ในน้ำซึ่งมีแนวโน้มที่จะคงอยู่ในน้ำเป็นระยะเวลายาวนาน (Mohammad *et al.,* 2004) การสะสมของอนุภาค อาทิเช่น สาหร่าย ตะกอนดิน สารแขวนลอยต่างๆ รวมทั้งจำนวนของจุลินทรีย์ เป็นต้น ไวรัสดังกล่าวจะเกาะติดกับโฮสต์ (host) ชนิดแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มได้ดีและสืบพันธุ์ (จิตรลดา, 2546)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปว่าอัตราการกรองที่ 15 m^3/m^2- h และการเดินระบบที่นานขึ้น โอกาสการเกาะติดบนอนุภาคของไวรัสมีมากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดไวรัสในระบบมากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ พบว่า ที่อัตราการกรองสูงๆไวรัสจะถูกกำจัดได้ดี (Chiemchaisri *et al.,* 2011) เมื่อเทียบกับระบบทรายกรอง พบว่า ระบบตัวกลางแขวนลอยมีประสิทธิภาพในการกำจัดไวรัสดีกว่าระบบทรายกรอง



ภาพที่ 14 ผลของการกำจัดโคลิฟาจในระบบตัวกลางแขวนลอยอัตราการกรอง 15 m^3/m^2- h เดินระบบ 6 ชั่วโมง

3.4 น้ำผ่านระบบตัวกลางแขวนลอยร่วมกับเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น

การเดินระบบตัวกลางแขวนลอยที่อัตราการกรอง 15 m^3/m^2- h ร่วมกับเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นที่อัตราการกรอง 0.6 m^3/m^2- dเดินระบบ 6 ชั่วโมง พบว่า ผลการทดลองของระบบตัวกลางแขวนลอยพบปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มและฟีคัลโคลิฟอร์มลดลงในชั่วโมงแรกของการเดินระบบ และเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเดินระบบนานขึ้นดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้นในหัวข้อ 3.3 (รูปที่ 13)

แต่เมื่อผ่านระบบเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น พบว่า การกำจัดแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดและฟีคัลโคลิฟอร์มรวมทั้งโคลิฟาจ ถูกกำจัดได้หมดในส่วนของเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นมีค่า <2 CFU / 100 ml เนื่องจากการเดินระบบอัตราการกรองต่ำมีผลต่อการกำจัดกลุ่มโปรโตซัว แบคทีเรีย และไวรัส (Haiou et al., 2012) และขนาดของช่องเปิดของเยื่อกรองมีผลต่อการกำจัดจุลินทรีย์และไวรัสดังกล่าวอนุภาคของไวรัสที่มีขนาดใหญ่กว่าขนาดช่องเปิดเยื่อกรอง จึงไม่

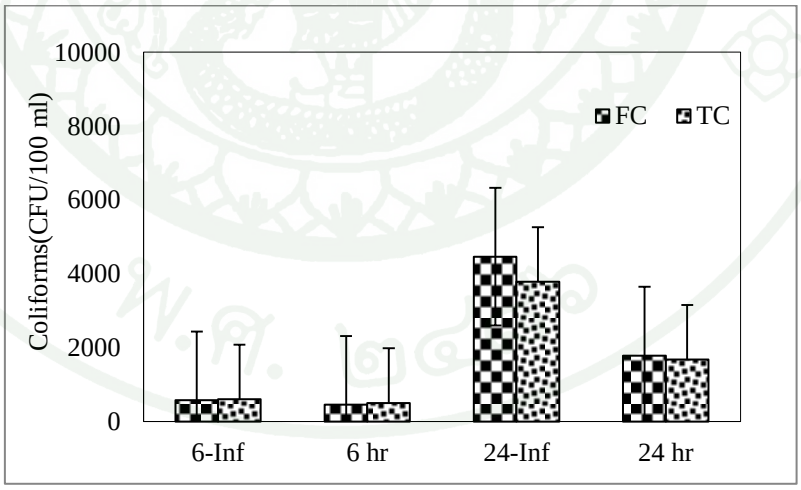
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สามารถผ่านไปได้ผิวหน้าของเยื่อกรองทำหน้าที่กักกันไม่ให้อนุภาคต่างๆอาทิเช่น ตะกอนดิน สาหร่าย ความขุ่น ไม่ให้ผ่านเข้าไปในระบบ เกิดการสะสมของอนุภาคต่างๆจำนวนมากบนผิวหน้าของเยื่อกรอง

ทำให้ประสิทธิภาพของการเดินระบบอัตราการกรองที่ต่ำ ส่งผลให้การกำจัดกลุ่มของจุลินทรีย์และไวรัส ได้ถึงร้อยละ 99 และการเดินระบบอัตราการกรองต่ำไม่มีผลต่อการอุดตันของระบบ

3.5 น้ำผ่านระบบตัวกลางแขวนลอย เดินระบบ 24 ชั่วโมง

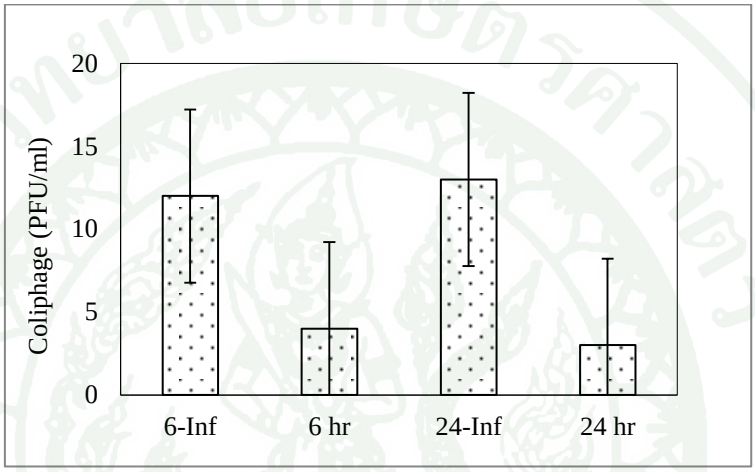
จากผลการทดลองการเดินระบบ 24 ชั่วโมงของตัวกลางแขวนลอยที่อัตราการกรอง $15 m^3/m^2$- h พบว่า การเดินระบบที่นานขึ้นส่งผลต่อการกำจัดแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด และฟีคัลโคลิฟอร์มในระบบมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มร้อยละ 56 และ ฟีคัลโคลิฟอร์มร้อยละ 60 เมื่อเทียบกับการเดินระบบ 6 ชั่วโมงที่อัตราการกรองเดียวกันซึ่งให้ประสิทธิภาพในการกำจัดแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มและ ฟีคัลโคลิฟอร์มใน 2 ชั่วโมงแรกของการเดินระบบเท่านั้น แสดงดังในภาพที่ 15



ภาพที่ 15 ผลของการกำจัดแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดและฟีคัลโคลิฟอร์มในระบบตัวกลางแขวนลอย เดินระบบ 24 ชั่วโมงเทียบกับ 6 ชั่วโมง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สำหรับโคลิฟาจ จากผลการทดลอง พบว่า ในสภาวะการเดินระบบที่อัตราการกรองเดียวกันกับ 6 ชั่วโมง สารแขวนลอยและอนุภาคต่างๆสะสมอยู่ในระบบเป็นจำนวนมาก รวมทั้งจำนวนแบคทีเรียที่สะสมอยู่บนผิวของตัวกลาง ซึ่งส่งผลให้ไวรัสเกิดการดูดติดกับแบคทีเรียบนอนุภาคของตัวกลาง(Tanji *et al.,* 2002) ไวรัสจะเข้าทำลายผนังของเซลล์ของแบคทีเรีย (Withey *et al.,* 2005) และอาศัยแบคทีเรียเป็นที่อยู่อาศัยการเดินระบบที่นานขึ้นกว่าเดิมทำให้ประสิทธิภาพของระบบตัวกลางแขวนลอยสามารถกำจัดไวรัสได้ดีถึงร้อยละ 78 แสดงในภาพที่ 16



ภาพที่ 16 ผลของการการกำจัดโคลิฟาจในระบบตัวกลางแขวนลอย เดินระบบ 24 ชั่วโมงเทียบกับ 6 ชั่วโมง

3.6 น้ำผ่านระบบตัวกลางแขวนลอยร่วมกับเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น เดินระบบ 24 ชั่วโมง

จากสภาวะการทดลองเดินระบบที่อัตราการกรอง 0.6 m^3/m^2- dระยะเวลาในการเดินระบบที่นานขึ้นจาก 6 ชั่วโมง เพิ่มเป็น 24 ชั่วโมง และทำการทดสอบหาปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมดและฟีคัลโคลิฟอร์มโดยวิธีการกรองด้วยเยื่อกรอง พบว่ามีค่า <2 CFU / 100 ml แสดงให้เห็นว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมดและฟีคัลโคลิฟอร์มได้ดีอย่างสม่ำเสมอ แม้ระยะเวลาจะเพิ่มขึ้นแต่ไม่ได้ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดเลยเพราะฉะนั้นเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นที่ทำด้วย cellulose acetate สามารถกำจัดอีโคไลได้หมด (Ironside and Sourirajan, 1967)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อย่างไรก็ตาม การเดินระบบที่นานขึ้น ทำให้ผิวหน้าของเยื่อกรองมีการสะสมของตะกอน และกลุ่มของสารแขวนลอยต่างๆเป็นจำนวนมาก การที่ผิวหน้าของเยื่อกรองเต็มไปด้วยกลุ่มของตะกอน หรือสารแขวนลอย หรือที่เรียกว่า “ the cake layer ” ทำให้เกิดการสกัดกันโคลิฟาจไม่ให้หลุดลอดเข้าไปในระบบได้ (Farahbakhsh *et al.,* 2004) โดยเฉพาะระบบเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นที่รับน้ำจากการบำบัดโดยตรง มีปริมาณตะกอนและสารแขวนลอยสะสมอยู่บนผิวหน้าของเยื่อกรองมากกว่าระบบที่มีตัวกลางแขวนลอยทำหน้าที่กำจัดอนุภาคเหล่านี้ไว้เบื้องต้น แต่ระบบทั้งสองยังคงสามารถกำจัดแบคทีเรียกลุ่มนี้ได้ดี

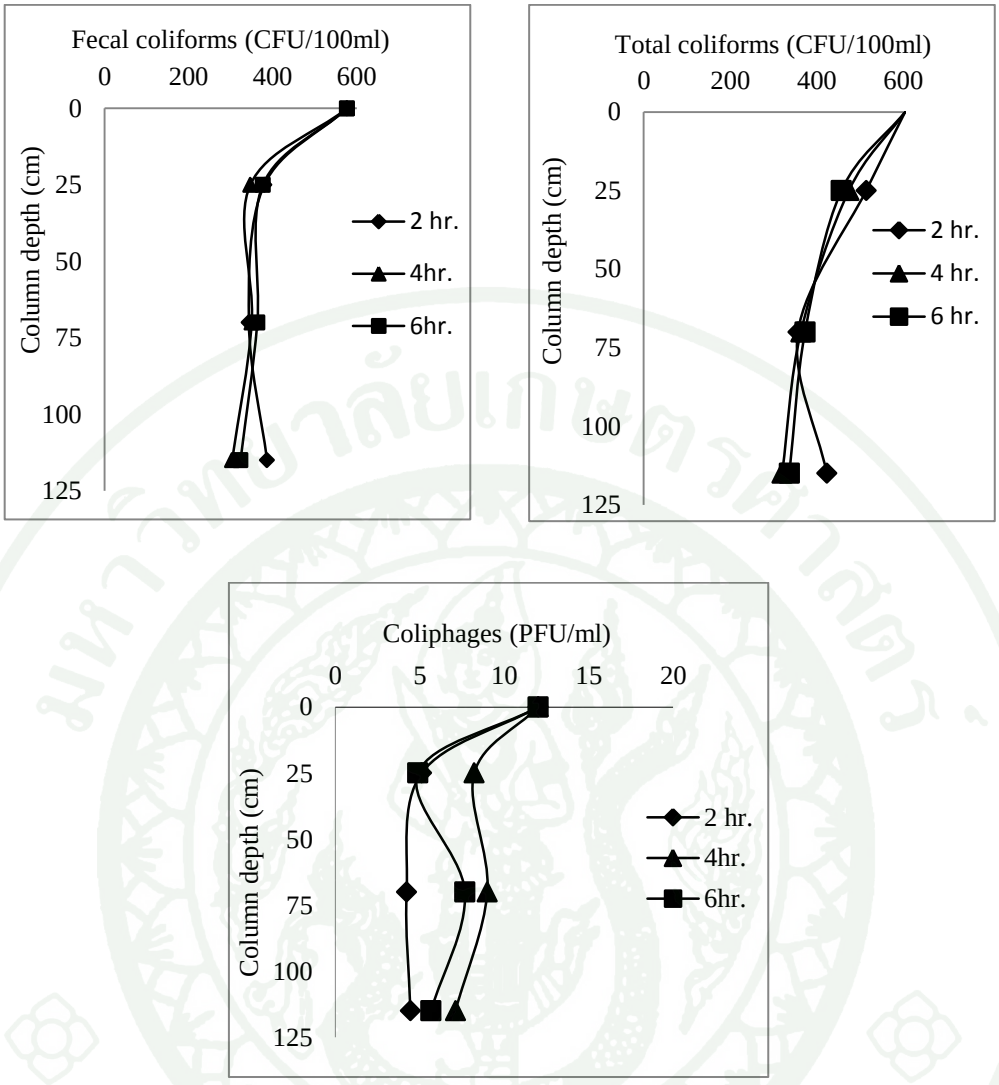
สำหรับโคลิฟาจ พบว่า ระบบตัวกลางแขวนลอยร่วมกับเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นยังคงมีประสิทธิภาพในการกำจัดโคลิฟาจเช่นเดียวกับการเดินระบบที่ 6 ชั่วโมง

4. ผลการทดสอบการกำจัดแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดและฟีคัลโคลิฟอร์มรวมทั้งโคลิฟาจในระดับความลึกต่างๆของระบบตัวกลางแขวนลอย เดินระบบ 6 ชั่วโมง

ระดับความลึกที่มีการกำจัดแบคทีเรียดังกล่าว คือ 0-25 เซนติเมตร บริเวณดังกล่าวมีการสะสมของกลุ่มอนุภาคตะกอนและจุลินทรีย์อยู่เป็นจำนวนมากเมื่อระยะการเดินระบบนานขึ้นและมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเดินระบบที่ระดับความลึก 120 เซนติเมตร สำหรับการกำจัดโคลิฟาจในระดับความลึกที่ 0 – 25 เซนติเมตร เช่นเดียวกับกลุ่มโคลิฟอร์ม เนื่องจากโคลิฟาจจะเกาะติดบนผิวอนุภาคของกลุ่มของตะกอนและสารแขวนลอยที่มีแบคทีเรียร่วมอยู่ด้วย เพื่อเป็นที่อยู่อาศัยและสืบพันธุ์ต่อไป การเกาะติดบนผิวอนุภาคสามารถหลุดออกมาได้เป็นการเกาะติดชั่วคราวเท่านั้น ทำให้บางช่วงเวลาของการเดินระบบมีปริมาณของไวรัสเพิ่มขึ้นเมื่อเดินระบบไป 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะลดลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น แสดงไว้ในภาพที่ 17

ผลการทดสอบการกำจัดแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มและโคลิฟาจดังกล่าว เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ เช่น งานวิจัยของจิตลดา (2546) ได้กล่าวว่า การใช้ระบบถังกรองเม็ดพลาสติกลอยกำจัดโคลิฟอร์มและโคลิฟาจโดยไม่ใช้สารเคมีร่วม พบว่า ช่วงระดับความลึกของชั้นกรองที่ทำหน้าที่กำจัดจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดได้ดีที่สุดคือ 0-70 ซม. และอัตราการกรองที่สูงขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพของการกำจัดโคลิฟอร์มต่ำลงแต่กลับให้ประสิทธิภาพของการกำจัดโคลิฟาจสูงขึ้น (จิตรลดา, 2546) สรุปได้ว่าผลที่ได้จากการทดสอบมีความสอดคล้องกับงานวิจัยข้างต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 17 ผลของการกำจัดแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มและฟีคัลโคลิฟอร์มและโคลิฟาจที่ระดับความลึกในระบบตัวกลางแขวนลอย อัตราการกรอง 15 m^3/m^2- h

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. ผลการทดสอบไบโอฟิล์ม/ชีวมวล

5.1 ผลการทดสอบไบโอฟิล์ม/ชีวมวลของเม็ดพลาสติกที่อยู่ในระบบตัวกลางแขวนลอย เพื่อหาปริมาณไบโอฟิล์มที่เกิดขึ้นบนเม็ดพลาสติกในรูปของน้ำหนักแห้ง พบว่า ปริมาณตะกอนและสารแขวนลอยที่เคลือบบนเม็ดพลาสติกเมื่อทำการอบแห้งมีน้ำหนักเกิดขึ้นเท่ากับ 5 mg/เม็ด ปริมาณชีวมวลเกิดขึ้นบนพื้นที่ผิวทรงกลม 1 เม็ดพลาสติก เท่ากับ 109 $\mu g/mm^2$ เพราะฉะนั้น biomass ทั้งหมดที่เกิดขึ้นบนเม็ดพลาสติกทั้งหมดในถังตัวกลางแขวนลอย เท่ากับ 404.39 g ซึ่งมีปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดเท่ากับ 8.2×10^6 CFU/m^2 และ ฟีคัลโคลิฟอร์มเท่ากับ 6.67×10^4 CFU/m^2 และโคลิฟาจเท่ากับ 1.18×10^6 PFU/m^2

5.2 ผลการทดสอบไบโอฟิล์ม/ชีวมวลของระบบตัวกลางแขวนลอยร่วมกับเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น ใช้น้ำจากการล้างย้อนเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นมาทำการกรอง พบว่า ปริมาณสารแขวนลอยที่สะสมอยู่บนผิวหน้าของเมมเบรนมีค่า เท่ากับ 16.88 mg/m^2 มีปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม เท่ากับ 1.27×10^7CFU/m^2 ปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์ม เท่ากับ 7.27×10^6CFU/m^2 และโคลิฟาจเท่ากับ 2.9×10^4 PFU/m^2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบเยื่อกรองทำหน้าที่กั้นไม่ให้สารแขวนลอยคอลลอยด์ สารโมเลกุลใหญ่ รวมถึงกลุ่มจุลินทรีย์ก่อโรค เช่น โปรโทซัว แบคทีเรีย หรือแม้แต่กระทั่งไวรัสก็ไม่สามารถผ่านเข้าไปในระบบได้ (Ravazzini *et al.,* 2005)

5.3 ผลการทดสอบไบโอฟิล์ม/ชีวมวลของเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นโดยตรง พบว่า ปริมาณชีวมวลที่เกิดขึ้นบนผิวหน้าของเยื่อกรองมีค่า เท่ากับ 33.77 mg/m^2 เมื่อเทียบกับระบบตัวกลางร่วมกับเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นมีค่ามากกว่า เพราะระบบอัลตร้าฟิลเตรชั่น รับน้ำที่ผ่านการบำบัดโดยตรง ซึ่งยังคงมีตะกอน และสารแขวนลอยบางส่วนที่หลงเหลืออยู่ เมื่อเดินระบบนานขึ้น ทำให้เกิดการสะสมอนุภาคดังกล่าวบนผิวหน้าเยื่อกรองเป็นจำนวนมาก ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดมีค่า เท่ากับ 2.2×10^7 CFU/m^2 ปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์ม เท่ากับ 2.4×10^7 CFU/m^2 และโคลิฟาจ เท่ากับ 3.9×10^4 PFU/m^2

6. ผลการทดสอบคุณสมบัติทางชีวเคมีและทางซีรั่ม (IMVic test and serological characters)

ในการยืนยันผล *E. coli* ที่พบในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ และน้ำผ่านระบบตัวกลางแขวนลอยและระบบทรายกรองทำการทดสอบทางชีวเคมี (IMVic test) พบว่า ส่วนใหญ่โคโลนีที่แสดงสีน้ำเงินเป็น *E. coli* จริง ไม่ใช่กลุ่มของพวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

enterobacteria เมื่อทำการทดสอบขั้นต่อไป สำหรับกรณีการนำน้ำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆจะก่อให้เกิดหรือความเสี่ยงในการก่อโรคหรือไม่ จึงมีผลการทดสอบทางด้านซีโรวิทยา (serological test) โดยอาศัยการตกตะกอนของเชื้อกับ Antiserum ในกลุ่มของ polyvalent I II และ III (O and K) ตารางที่ 11

ตารางที่ 11 Group specific ที่ใช้ในการทดสอบซีโรวิทยาของ polyvalent I II และ III (O and K)

Description	Group specific
E. coli (O&K) Polyvalent I	O25 : K ll
	O26 : K60
	O44 : K74
	O55 : K59
	O78 : K80
	O111 : K58
	O114 : K-
	O119 : K69
E. coli (O&K) Polyvalent II	O86 : K61
	O124 : K72
	O125 : K70
	O126 : K71
	O127 : K63
	O128 : K67
E. coli (O&K) Polyvalent III	O18ac : K77
	O20ab : K84
	O28 : K73
	O112ac : K66

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลการทดสอบ ดังกล่าว พบว่า น้ำที่ผ่านการบำบัดจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ มีอีโคไลอยู่ 4.46×10^3CFU/ml ให้ผล positive ในกลุ่ม polyvalent I II และ III ดังตารางที่ 12และ ระบบทรายกรองมีอีโคไลอยู่ 3.9 ×10^2CFU/ml ที่ให้ผล positive เช่นกัน แสดงดังในตางรางที่ 13 เช่นเดียวกับน้ำผ่านระบบตัวกลางแขวนลอยมีอีโคไลอยู่ 1.79 ×10^3CFU/ml ให้ผล positive ดังตาราง ที่ 14 ทั้งนี้ผลที่ได้ยังไม่สามารถหา Group ได้ ต้องทดสอบขั้นต่อไปเพื่อหา Group specific antiserum อีกครั้ง

ตารางที่ 12 แสดงจำนวน positive และ negative การตกตะกอนที่เกิดขึ้นในน้ำเข้าระบบ (n = 20 colony)

Polyvalent I			Polyvalent II			Polyvalent III		
เกณฑ์	ผล	%	เกณฑ์	ผล	%	เกณฑ์	ผล	%
+	9	45	+	9	45	+	9	45
3+	9	45	3+	1	5	3+	3	15
2+	1	5	2+	2	10	2+	2	10
1+	0	-	1+	7	35	1+	5	25
-	1	5	-	1	5	-	1	5

หมายเหตุ - = ไม่มีการตกตะกอนของเชื้อ (Negative) + = มีการตกตะกอนของเชื้อ (Positive)

1+ = การตกตะกอนของเชื้อน้อย 2+ = การตกตะกอนของเชื้อปานกลาง

3+ = การตกตะกอนของเชื้อมากและเห็นได้ชัดเจน

จากตารางที่ 12 สรุปได้ว่า จำนวน positive ของน้ำเข้าระบบในกลุ่มของ Polyvalent III และ IIIเท่ากับ 95 % และมีจำนวน negative เท่ากับ 5 %

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 13 แสดงจำนวน positive และ negative การตกตะกอนที่เกิดขึ้นในน้ำผ่านระบบทรายกรอง (n = 12 colony)

Polyvalent I			Polyvalent II			Polyvalent III		
เกณฑ์	ผล	%	เกณฑ์	ผล	%	เกณฑ์	ผล	%
+	7	58	+	8	67	+	7	58
3+	3	25	3+	3	25	3+	3	25
2+	0	-	2+	0	-	2+	0	-
1+	0	-	1+	0	-	1+	0	-
-	2	17	-	1	8	-	2	17

หมายเหตุ - = ไม่มีการตกตะกอนของเชื้อ (Negative) + = มีการตกตะกอนของเชื้อ (Positive)

1+ = การตกตะกอนของเชื้อน้อย 2+ = การตกตะกอนของเชื้อปานกลาง

3+ = การตกตะกอนของเชื้อมากและเห็นได้ชัดเจน

จากตารางที่ 13 สรุปได้ว่า จำนวน positive ของน้ำผ่านระบบทรายกรองในกลุ่มของ Polyvalent I และ III เท่ากับ 83 % Polyvalent II เท่ากับ 92 % และมีจำนวน negative ในกลุ่มของ Polyvalent I และ III เท่ากับ 17 % และ Polyvalent II เท่ากับ 8%

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 14 แสดงจำนวน positive และ negative การตกตะกอนที่เกิดขึ้นในน้ำผ่านระบบตัวกลางแขวนลอย (n = 16 colony)

Polyvalent I			Polyvalent II			Polyvalent III		
เกณฑ์	ผล	%	เกณฑ์	ผล	%	เกณฑ์	ผล	%
+	5	31	+	7	43.8	+	6	38
3+	2	12.5	3+	3	18.8	3+	4	25
2+	1	6	2+	2	12.5	2+	0	-
1+	2	12.5	1+	0	-	1+	1	6
-	6	38	-	4	25	-	5	31

หมายเหตุ - = ไม่มีการตกตะกอนของเชื้อ (Negative) + = มีการตกตะกอนของเชื้อ (Positive)

1+ = การตกตะกอนของเชื้อน้อย 2+ = การตกตะกอนของเชื้อปานกลาง

3+ = การตกตะกอนของเชื้อมากและเห็นได้ชัดเจน

จากตารางที่ 14 สรุปได้ว่า จำนวน positive ของน้ำผ่านระบบตัวกลางแขวนลอยในกลุ่มของ Polyvalent I เท่ากับ 63 %Polyvalent II เท่ากับ 76%และ Polyvalent III เท่ากับ 69 %และมีจำนวน negativeในกลุ่ม ของ Polyvalent I เท่ากับ 38%Polyvalent II เท่ากับ 25 %และ Polyvalent III เท่ากับ 31 %

ดังนั้นน้ำที่เข้าระบบ น้ำที่ผ่านระบบทรายกรอง และระบบตัวกลางแขวนลอย นั้นให้ผลเป็น positiveทั้ง Polyvalent III และ III มากกว่าให้ผล negative ซึ่งมีปริมาณของ O and K ในแต่ polyvalent แตกต่างกัน เพื่อทำการจัดจำแนกในขั้นต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7. ผลการประเมินความเสี่ยงในการเกิดโรค

จากการประเมินโดยใช้โมเดล Exponential และโมเดล Beta Poisson ของเชื้อ *E.coli* ก่อโรค ซึ่งค่าความเสี่ยงที่ใช้อยู่ขึ้นอยู่กับความเข้มของกฎหมายระเบียบข้อบังคับของแต่ละพื้นที่และแต่ละกิจกรรมของแต่ละประเทศโดยมีอยู่ 3 ระดับ คือ การก่อโรค 1 ครั้งในการสัมผัส 10,000 ครั้ง (1/10,000) และ 1/100,000 และสูงสุด 1/1,000,000 (สำนักการระบายน้ำ, 2555) ผลการประเมินความเสี่ยงแสดงดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ค่าความเสี่ยงของเชื้อ *E.coli*

ระบบ	โมเดล Exponential	โมเดล BetaPoisson
น้ำผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำ ฯ	2.79×10^{-4}	2.33×10^{-2}
ระบบทรายกรองที่ 6 ชั่วโมง	2.43×10^{-5}	2.04×10^{-3}
ระบบตัวกลางแขวนลอยที่ 24 ชั่วโมง	1.12×10^{-4}	9.34×10^{-3}

จากการประเมินค่าความเสี่ยงของเชื้อ *E.coli* ที่ก่อโรคของน้ำที่ผ่านการบำบัดจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ โดยใช้โมเดล ทั้ง 2 แบบ คือ โมเดล Exponential และโมเดล Beta Poisson พบว่า ค่าความเสี่ยงมากกว่าระดับความปลอดภัย (1/10,000หรือ 1×10^{-4}) สำหรับกิจกรรมที่ต้องไม่มีการสัมผัสกับมนุษย์ ขณะเดียวกันน้ำที่ผ่านระบบทรายกรองมีค่าความเสี่ยงที่ไม่เหมาะในการนำน้ำไปใช้ในกิจกรรมที่มีการสัมผัสโดยตรงและน้ำที่ผ่านระบบตัวกลางแขวนลอย มีค่าความเสี่ยงเช่นเดียวกับทรายกรองที่ไม่เหมาะจะนำน้ำไปใช้ในกรณีที่ต้องสัมผัสโดยตรง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. ผลคุณภาพน้ำทางด้านกายภาพ เคมี และชีววิทยาของระบบกรองต่างๆ

ผลคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี โดยรวมของน้ำเข้าระบบที่ผ่านการบำบัดจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์และน้ำที่ผ่านระบบต่างๆ ตลอดระยะเวลาการเดินระบบ 6 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมงของระบบตัวกลางแขวนลอยร่วมกับเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นและระบบเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น โดยตรงพบว่าคุณภาพน้ำที่ผ่านระบบต่างๆทางเคมีจัดอยู่ในเกณฑ์ที่ดี สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ในกิจกรรมที่ไม่มีการสัมผัสกับมนุษย์ เช่น การเกษตร และการชลประทาน

อย่างไรก็ตามผลการตรวจสอบทางจุลชีววิทยา สำหรับการบำบัดผ่านตัวกรองชนิดต่างๆ พบว่า ระบบทรายกรองมีการกำจัดแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมดและฟีคัลโคลิฟอร์มที่อัตราการกรอง 5 m^3/m^2 – h ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดร้อยละ 26 และ 32 ตามลำดับ และระบบทรายกรองสามารถกำจัดโคลิฟาจได้ร้อยละ 49 สำหรับระบบตัวกลางแขวนลอยที่อัตราการกรอง 15m^3/m^2 – h เดินระบบ 6 ชั่วโมง พบว่า ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด ฟีคัลโคลิฟอร์ม และโคลิฟาจร้อยละ 50, 40 และ 64 ตามลำดับ และระดับความลึกในระบบตัวกลางแขวนลอยที่สามารถกำจัดจุลินทรีย์และโคลิฟาจได้ดีที่สุด คือ ที่ระดับความลึก 0 – 25 เซนติเมตร จากผลการวิเคราะห์ไบโอฟิล์ม/ชีวมวลของเม็ดพลาสติก พบว่า ปริมาณชีวมวลเกิดขึ้นบนพื้นที่ผิวทรงกลม 1 เม็ดพลาสติก เท่ากับ 109 $\mu g/mm^2$ เพราะฉะนั้นปริมาณชีวมวลทั้งหมดที่เกิดขึ้นบนเม็ดพลาสติกทั้งหมดในถังตัวกลางแขวนลอย เท่ากับ 404.39 g มีปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด ฟีคัลโคลิฟอร์ม และโคลิฟาจ เท่ากับ 8.2×10^6 CFU/m^2 6.67×10^4 CFU/m^2 และ 1.84×10^6 PFU/m^2 ตามลำดับ การเดินระบบที่ 24 ชั่วโมงของระบบตัวกลางแขวนลอย พบว่า ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด ฟีคัลโคลิฟอร์ม ร้อยละ 56 และ 60 ตามลำดับ และโคลิฟาจ ร้อยละ 78 ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดโคลิฟาจมากกว่าการเดินระบบที่ 6 ชั่วโมง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในระบบตัวกลางแขวนลอยร่วมกับเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นและระบบเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นโดยตรงมีประสิทธิภาพในการกำจัดแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด ฟีคัลโคลิฟอร์ม และโคลิฟาจ ร้อยละ 90 – 99% ที่อัตราการกรอง 0.6 m^3/m^2 – d และผลการวิเคราะห์ปริมาณชีวมวลที่เกิดขึ้นบนผิวหน้าเยื่อกรองอัลตร้าเมมเบรนจากการไหลย้อนของระบบตัวกลางแขวนลอยร่วมกับเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น มีปริมาณของแข็งบนผิวหน้าเยื่อกรอง เท่ากับ 16.88 mg/m^2 และปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มเท่ากับ 1.27×10^7 CFU/m^2 ปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มเท่ากับ 7.27×10^6 CFU/m^2 และโคลิฟาจเท่ากับ2.9×10^4 PFU/m^2 และระบบเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นโดยตรงปริมาณของแข็งบนผิวหน้าเยื่อกรองเท่ากับ 33.77 mg/m^2 ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด และฟีคัลโคลิฟอร์ม มีค่าเท่ากับ 2.2×10^7 CFU/m^2 2.4×10^7 CFU/m^2 และโคลิฟาจเท่ากับ 3.9×10^4 PFU/m^2

2. ผลการทดสอบทางด้านคุณสมบัติทางชีวเคมีและทางซีโรวิทยาของอีโคไล (IMVic test and serological characters)

2.1 ผลการทดสอบทาง IMVic test สรุปได้ว่าเชื้อ *E.coli* ที่อยู่ในน้ำที่ผ่านการบำบัดของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ น้ำที่ผ่านระบบทรายกรอง และระบบตัวกลางแขวนลอยที่ทำการแยกมาจากอาหารเลี้ยงเชื้อนั้นเป็นเชื้อ *E. coli* ที่ถูกคัดแยกออกมาจากกลุ่ม coliform ทั้งหมด

2.2 ผลการทดสอบทางซีโรวิทยาของเชื้อ *E.coli* ในน้ำที่ผ่านการบำบัดจำนวน 20 โคโลนี พบว่า ให้ผล positive ในกลุ่ม polyvalent I II และ III ร้อยละ 95และ negative ร้อยละ 5

2.3 น้ำผ่านระบบทรายกรองจำนวน 12โคโลนี ให้ผล positiveในกลุ่ม polyvalent I และ III ร้อยละ 83 polyvalentII ร้อยละ92 และมีจำนวน negativeในกลุ่มของ Polyvalent I และ III ร้อยละ 17 และ Polyvalent II ร้อยละ8 ตามลำดับ

2.4 น้ำผ่านระบบตัวกลางแขวนลอยจำนวน 16 โคโลนี ให้ผล positiveในกลุ่ม polyvalent I ร้อยละ63 polyvalent II ร้อยละ 76และ polyvalent III ร้อยละ 69 ตามลำดับ และผลnegativeในกลุ่มของ Polyvalent I ร้อยละ 38Polyvalent IIร้อยละ 25 และPolyvalent III ร้อยละ 31 ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. ผลจากการประเมินความเสี่ยงในการเกิดโรค

ผลการประเมินความเสี่ยงในการเกิดโรคโดยใช้โมเดล Exponential และโมเดล Beta Poisson ของเชื้อ *E.coli* พบว่า น้ำดังกล่าวมีความเสี่ยงในการก่อโรคทางเดินระบบอาหารมีค่าความเสี่ยง >1/10,000 สำหรับกิจกรรมที่ไม่มีการสัมผัสน้ำโดยตรง

ดังนั้น ในกรณีที่ต้องการจะนำน้ำกลับไปใช้ประโยชน์ในกิจกรรมที่มีโอกาสที่มนุษย์จะสัมผัสควรหลีกเลี่ยง และถ้านำไปใช้ในกิจกรรมอื่นๆ เช่น ใช้ในการเกษตร ควรมีระบบที่เข้ามาพัฒนาเพื่อให้นำน้ำนั้นสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เช่น การฆ่าเชื้อโรค หรือจะใช้เป็นระบบเยื่อกรอง เช่น เยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น หรือ ไมโครฟิลเตรชั่น เป็นต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีระบบฆ่าเชื้อโรคก่อนนำน้ำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ เพื่อให้น้ำมีคุณภาพที่ดีสม่ำเสมอและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายมากขึ้น

2. ควรศึกษาปัจจัยที่ทำให้โคลิฟาจถูกกำจัดได้ดีในอัตราการกรองสูง (การสะสมบนตัวกลางหรือ อนุภาคที่ถูกกักไว้ระหว่างช่องว่าง)

3. ควรศึกษาการสะสมของสารแขวนลอย (biofilm) บนเม็ดทรายในระบบทรายกรอง เพื่อบอกได้ว่าระบบต้องทำการล้างย้อน เมื่อมีการสะสมมากเท่าไหร่

4. ควรศึกษา Group specific antiserum ของเชื้อ *E.coli* ก่อโรค

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กัมปนาท พลอามาตย์. 2543. **การปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบในสภาวะที่มีแบคทีเรียเกินมาตรฐานสำหรับกระบวนการทรายกรองช้า**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2542. **การบำบัดน้ำเสีย**. พิมพ์ครั้งที่ 2 สยามสเตชั่นเนอรี่ซัพพลายส์, กรุงเทพฯ.

แก้วตา วันดี. 2552. **การกำจัดจุลินทรีย์ในระบบกรองเพื่อนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชนกลับมาใช้ใหม่**. การศึกษาค้นคว้าอิสระ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จิตรลดา ดำรงสุกิจ. 2546. **การกำจัดไวรัสและแบคทีเรียโดยระบบถังกรองเม็ดพลาสติกลอยร่วมกับไมโครฟิลเตรชั่น**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชันยาภรณ์ ปัญจวรานนท์. 2540. **การพัฒนากระบวนการปรับคุณภาพน้ำโดยใช้ระบบกรองสัมผัส.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ณัฐพงศ์ เลิศปิติภัทร. 2540. **ประสิทธิภาพของกระบวนการกรองด้วยเมมเบรนในการกำจัดโคลิฟาจในน้ำดิบที่ปนเปื้อนโคลิฟาจ และอีโคไล**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นพรัตน์ พัชณีย์. 2554. **การกำจัดโคลิฟอร์มและอิโคไลที่ดื้อยาปฏิชีวนะในระบบตะกอนเร่งที่บำบัดน้ำเสียชุมชน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิตยา ค้าคุ้ม, อุมาพร ยอดประทุม และ รศนา วงศ์รัตนชีวิน. 2553. **แบคเทอริโอเฟจและการประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์**. ศรีนครินทร์เวชสาร 25 (1): 47-53.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประสิทธิ์ วัฒนปรีชาธรรม. 2554. **การใช้ชั้นกรองตัวกลางลอยร่วมกับเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชั่นเพื่อนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่**. การศึกษาค้นคว้าอิสระ , มหาวิยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปรีชา สุวรรณพินิจ และ นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ. 2548. **ชีววิทยา 2**. พิมพ์ครั้งที่ 5โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

พิพัฒน์ ลักษมีจรัลกุล. 2550. **การประเมินความเสี่ยงทางจุลินทรีย์และการจัดการ**. พิมพ์ครั้งที่ 1 เจริญดีการพิมพ์, กรุงเทพฯ

ไพศาล วีรกิจ. 2541. **การนำน้ำทิ้งมาหมุนเวียนใหม่ (Effluent treated wastewater reuse)**. วารสารวิชาการ 4 (2): 30 – 39.

รัฐพนธ์ ทาทอง. 2543. **การใช้หลอดรังสีอัลตราไวโอเลตชนิดความดันต่ำในการบำบัดน้ำดิบที่ปนเปื้อนโคลิฟาจ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิไล เจียมไชยศรี. 2550. **คุณภาพน้ำเพื่อการเกษตร.มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**. บริษัทเท็กซ์แอนด์เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ.

วีรานุช หลาง. 2551. **จุลชีววิทยาสิ่งแวดล้อม**. พิมพ์ครั้งที่ 1 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศิรประภา ตรีเดช. 2546**. การกำจัดสาหร่ายโดยระบบผลิตน้ำประปาที่ใช้ถังกรองแบบเม็ดพลาสติกลอยร่วมกับไมโครฟิลเตรชั่น**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. 2553. **การนำน้ำเสียกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่.**

สาวิตรี วทัญญูไพศาล. 2552. **จุลชีววิทยาเบื้องต้น (Introduction Microbiology)**. พิมพ์ครั้งที่ 1 บริษัท มิสเตอร์ก๊อปปี้ (ประเทศไทย) จำกัด, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สำนักการระบายน้ำ. 2555. **รายงานการศึกษาโครงการศึกษาความเหมาะสมของการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดกลับมาใช้ประโยชน์ของกรุงเทพมหานคร.**

สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำกลุ่มงานโครงการและจัดการตะกอน. 2552. **สรุปรายงานแนวทางการนำน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดกลับมาใช้ประโยชน์.**

สิราภรณ์ โพธิวิชยานนท์ และคณะ. 2552. **รายงานการวิจัยการประเมินความเสี่ยงของการนำน้ำเสียจากชุมชนขนาดเล็กที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้ในการเพาะปลูก.** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์. 2551. **เทคโนโลยีน้ำเสีย**. พิมพ์ครั้งที่2ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุนทรี ปัสนานนท์. 2550. **การเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยการดูดติดผิวถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดและฟิล์มชีวภาพในระบบผลิตน้ำประปาแบบชั้นกรองตัวกลางลอย**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุบัณฑิต นิ่มรัตน์. 2548. **จุลชีววิทยาน้ำเสีย.**พิมพ์ครั้งที่ 1 บริษัท แอคทีฟพริ้นท์ จำกัด, กรุงเทพฯ.

สุพรรณี เทพอรุณรัตน์. 2547. **คุณภาพทางจุลชีววิทยาของน้ำบริโภค**. พิมพ์ครั้งที่ 1 โครงการวิทยาศาสตร์ชีวภาพ, กรุงเทพฯ.

สุรินทร์ ปิยะโชคณากุล. 2552. **เครื่องหมายดีเอ็นเอ: จากพื้นฐานสู่การประยุกต์**. พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

องค์การจัดการน้ำเสีย. 2544. **รายงานการศึกษาแนวทางการนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ประโยชน์ในพื้นที่เทศบาลเมืองแสนสุข**.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

American Public Health Association (APHA). 1998. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 20th ed. American Public Health Association, Washington, D.C.

Arevalo, J., G. Gloria, P. Fidel, M. Begona, P.Jorge and G. A. Miguel. 2009. Wastewater reuse after treatment by tertiary ultrafiltration and a membrane bioreactor (MBR): a comparative study**. Desalination** 243: 32-41.

Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W., Kornboonraksa, T., Dumrongsukit, C., Threedeach, S., Ngo, H.H., Vigneswaran, S. 2005. Particle and microorganism removal in floating plastic media coupled with microfiltration membrane for surface water treatment. **Water Science and Technology** 51 (10): 93–100.

Chiemchaisri, C., Panchawaranon, C., Rutchatanunti, S., Kludpiban, A., Ngo, H.H., Vigneswaran, S. 2003. Development of floating plastic media filtration system for water treatment and wastewater reuse. **Journal of Environmental Science and Health Part A** 38: 2359 – 2368.

Chiemchaisri, C., S. Passananon, H.H. Ngo, S. Vigneswaran. 2008. Enhanced natural organic matter removal in floating media filter coupled with microfiltration membrane for river water treatment. **Desalination** 234: 335–343.

Chiemchaisri, W., Chiemchaisri, C., Dumrongsukit, C.,Threedeach, S., Ngo, H.H., Vigneswaran, S. 2011. Removal of water-born microorganisms in floating media filter-microfiltration system for water treatment. **Bioresource Technology** 102: 5438-5443.

Ellis, K.V. 1985. Slow sand filtration. **Critical Reviews in Environmental Control** 15 (4): 315–354.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Farahbakhah, K. and D.W. Smith. 2004. Removal of coliphages in secondary effluent by microfiltration—mechanisms of removal and impact of operating parameters. **Water Research** 38: 585–592.

Hanlon, G.W. 2007. Review: Bacteriophage: an appraisal of their role in the treatment of bacterial infections. **International Journal of Antimicrobial Agent**. 30: 118-128

Hass, C.N., Madabusi, A.T., Rose , J.B and Charles P. Gerba. 2000. Development of a dose-response relationship for *Escherichia coli* O157:H7. **International Journal of Food Microbiology** 1748: 153–159.

Huang, H., Y. Thayer A, S. Kellogg J and J. Joseph G. 2012. Mechanisms of virus removal from secondary wastewater effluent by low pressure membrane filtration. **Journal of Membrane Science** 409– 410: 1– 8.

Huisman, L. 1982. Slow sand filtration. Deft University of Technology, The Nertherland.

Ironside, R and S. Sourrirajan. 1967. The reverse osmosis technique for water pollution control. **Water Research** 1: 179

Lamerding, A.M. and A. Fazil. 2000. Hazard Identification and Exposure Assessment for Microbial Food Safety Risk Assessment. **International Journal of Food Microbiology** 58 (3): 147-157.

Madeesuksatid, N. 1994. Pilot Scale Floto-Filter Study for Surface Water Filtration. M.S. thesis, Asian Institute of Technology.

Mann, N. R. and T. A. Todd. 2000. Crossflow filtration testing of INEEL radioactive and non-radioactive waste slurries. **Chemical Engineering Journal** 80: 237–244.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Metcalf and Eddy. 2003. **Wastewater Engineering Treatment and Reuse**. 4th ed. McGraw-Hill Companies ,Inc., New York.

Ngo, H.H. and S.Vigneswaran. 1995. Application of floating media filter in water and wastewater treatment with contact flocculation-filtration arrangement. **Water Research** 29: 2211-2213.

O'Melia, C.R. and W. Stumm. 1969. Theory of water filtration. **Journal of the American Water Works Association** 59 (11): 1393–1412.

Ravazzini, A.M., A.F. van Nieuwenhuijzen and J.H.M.J. van der Graaf. 2005. Direct ultrafiltration of municipal wastewater: comparison between filtration of raw sewage and primary clarifier effluent. **Desalination** 178: 51-62.

Scholz, W. 2006. Wetland systems to control urban runoff. p. 65-72.

Seeley, H.W., Jr. and P.J. Vandemark. 1981. **Microbes in action**. Cornell university.

Simmons, F.J., KuoD. H.-WandX.Irene. 2011. Removal of human enteric viruses by a full-scale membrane bioreactor during municipal wastewater processing. **Water Research** 45: 2739 – 2750.

Stanek, J.E.and J.O. Falkinham III. 2001. Rapid coliphage detection assay. **Journal of Virological Methods**91 (1): 93-98.

Sundarakumar, R. 1996. Pilot-Scale Study on Floating Media Filtration for Surface Water Treatment. M.S. thesis, Asian Institute of Technology.

Tanaka, Y., Miyajima, K., Funakosi, T., and S. Chida. 1995. Filtration of Municipal Sewage by Ring Shaped Floating Plastic Net Media. **Water Research** 29 (5): 1387 – 1392.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Tanji,Y., Mizoguchi, K., Yoichi, M., Morita, M., Hori, K., and U. Hajime. 2002. Fate of Coliphage in a Wastewater Treatment Process. **Journal of Bioscience and Bioengineering** 94 (2): 172-174.

Tay J. H. and S. Jeyaseelan. 1995. Membrane filtration for reuse of wastewater from beverage industry. **Resources, Conservation and Recycling** 5: 33-40.

Tchobanoglous, G., FL. Burton and H. Stensel. 2003. In Wastewater engineering: treatment and reuse. 4th Eds. Metcalf & Eddy, Inc., McGrawHill, NY. p. 1345-1446.

Tchobanoglous, G., J. Darby, K. Bourgeous , J. McArdle ,P. Genest and M. Tylla. 1998. Ultrafiltration as an advanced tertiary treatment process for municipal wastewater. **Desalination** 119: 315-322.

Toze, S. 1999. Review: PCR and the detection of microbial pathogens in water and wastewater. **Water Research** 33 (17): 3545-3556.

U.S. EPA. 1992. **Guidelines for water reuse**. United States Environmental Protection Agency, Washington.

Visvanathan, C., D.R.I.B. Werellagama and R. Ben Aim. 1996. Surface water pretreatment using floation media filter. **Journal of Environmental Engineering (ASCE)** 122: 301-314.

Withey, S., E. Cartmell, L.M. Avery and T. Stephenson. 2005. Bacteriophages - Potential for application in wastewater treatment processes. **Science of the Total Environment** 339: 1-18.

Zhang, k. and k. Farahbakhsh. 2007**.** Removal of native coliphages and coliform bacteria from municipal wastewater by various wastewater treatment processes: Implications to water reuse**. Water Research** 41 (12): 2816-2824**.**

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ก

ตารางข้อมูลผลการทดลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 คุณภาพน้ำทางเคมีของน้ำออกจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ กรุงเทพมหานคร

Parameter	เดินระบบ 6 ชั่วโมง												Avg.		
	Avg.	Min	Max	Avg.	Min	Max	Avg.	Min	Max	Avg.	Min	Max	Avg.± SD	Min	Max
Turbidity (NTU)	4.22	2.50	7.02	15.90	4.37	25.30	5.76	4.15	9.89	17.38	11.60	22.70	10.82 ±6.78	2.50	25.30
EC (µs/cm)	318.46	234.60	412.00	284.56	162.80	386.00	555.50	611.00	500.00	407.95	298.40	583.00	391.62 ±127.66	162.80	583.00
pH (pH)	8.54	7.78	10.15	7.48	7.29	7.86	7.20	6.85	7.41	7.39	7.31	7.49	7.65±0.60	6.85	10.15
Color (S.U)	1.71	1.15	2.25	2.28	0.80	6.75	1.45	1.00	1.85	1.39	0.75	2.35	1.71±0.41	0.75	6.75
DO (mg/l)	7.25	6.50	8.00	7.58	7.00	8.00	7.60	7.00	8.40	6.95	6.70	7.10	7.35±0.31	6.50	8.40
SS (mg/l)	8.84	3.83	13.17	22.60	6.50	44.00	11.65	7.75	14.75	26.56	18.50	31.00	17.41±8.51	3.83	44.00
NO^{-}_{3} (mg/l)	2.25	1.76	2.56	2.34	1.35	3.68	2.51	1.41	3.61	2.09	1.17	4.14	2.30±0.18	1.17	4.14
NH^{+}_{4} (mg/l)	2.16	1.87	2.45	2.43	1.43	3.70	2.71	1.68	4.50	1.77	0.11	5.07	2.28±0.40	0.11	5.07
TOC (mg/l)	4.49	2.95	6.08	6.57	2.23	10.12	9.27	4.60	13.94	10.94	8.22	12.64	7.82±2.86	2.23	13.94
TN (mg/l)	4.18	2.60	5.80	5.33	3.47	7.32	5.50	2.30	8.69	7.47	7.12	8.08	5.62±1.37	2.30	8.69

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก2 คุณภาพน้ำทางเคมีของน้ำออกจากระบบทรายกรอง

Parameter	เดินระบบ 6 ชั่วโมง												Avg.		
	Avg.	Min	Max	Avg.	Min	Max	Avg.	Min	Max	Avg.	Min	Max	Avg.± SD	Min	Max
Turbidity (NTU)	1.12	0.48	3.21	1.41	0.59	2.62	1.43	0.72	2.29	1.81	1.11	3.23	1.27 ± 0.28	0.48	3.23
EC (µs/cm)	328.63	226.20	428.00	313.84	234.20	383.00	542.33	490.00	606.00	389.23	292.80	573.00	393.51 ±104.44	226.20	606.00
pH (pH)	8.22	7.11	10.92	7.42	7.02	7.79	7.24	6.98	7.45	7.46	7.13	7.75	7.59 ± 0.43	6.98	10.92
Color (S.U)	0.92	0.40	1.30	1.09	0.37	1.90	1.18	0.65	2.45	1.03	0.45	1.60	1.06 ± 0.11	0.37	2.45
DO (mg/l)	6.93	6.00	7.50	6.17	5.60	7.20	5.74	4.30	7.70	6.68	6.00	7.40	6.38 ± 0.53	4.30	7.70
SS (mg/l)	1.40	0.00	5.00	1.87	0.50	4.00	2.90	0.50	4.25	3.18	1.00	5.75	2.34 ± 0.84	0.00	5.75
NO^{-}_{3} (mg/l)	1.76	1.20	2.90	1.83	1.30	2.60	2.46	1.46	4.42	2.10	1.12	4.68	2.04 ± 0.32	1.12	4.68
NH^{+}_{4} (mg/l)	1.75	1.34	2.20	1.84	0.90	2.50	1.67	0.80	2.34	1.89	0.02	5.61	1.79 ± 0.10	0.02	5.61
TOC (mg/l)	3.58	3.92	5.62	4.55	2.90	6.89	7.69	3.91	13.10	9.51	7.54	16.41	6.33 ± 2.75	2.90	16.41
TN (mg/l)	3.59	2.59	5.70	3.92	2.30	6.20	7.54	6.01	9.55	7.64	6.39	8.88	5.67 ± 2.22	2.30	9.55

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก3 คุณภาพน้ำทางเคมีของน้ำออกจากระบบตัวกลางแขวนลอย

Parameter	เดินระบบ 6 ชั่วโมง												Avg.		
	Avg.	Min	Max	Avg.	Min	Max	Avg.	Min	Max	Avg.	Min	Max	Avg.	Min	Max
Turbidity (NTU)	1.88	0.88	3.63	2.80	1.50	7.02	3.25	1.52	9.54	6.38	3.56	10.08	3.58±1.95	0.88	10.08
EC (µs/cm)	331.33	234.00	427.00	316.36	231.60	385.00	544.50	496.00	602.00	392.91	290.50	574.00	396.28 ±104.22	231.6	602.00
pH (pH)	8.45	6.92	10.69	7.43	7.25	7.70	7.37	6.97	7.63	7.52	7.32	7.75	7.69±0.50	6.92	10.69
Color (S.U)	1.10	0.4	1.80	1.55	0.95	2.60	1.60	0.95	2.80	1.10	0.40	1.90	1.34±0.28	0.40	2.80
DO (mg/l)	6.90	6.00	7.60	7.49	6.00	8.00	6.57	5.60	7.60	6.49	5.70	7.00	6.86±0.45	5.60	8.00
SS (mg/l)	2.78	0.5	6.17	4.30	0.50	10.00	5.15	1.00	14.00	10.15	4.00	25.00	5.60±3.19	0.50	25.00
NO^{-}_{3} (mg/l)	2.14	1.43	3.00	1.91	1.45	2.50	2.31	1.43	3.64	1.94	1.13	5.16	2.08±0.19	1.13	5.16
NH^{+}_{4} (mg/l)	2.03	1.02	3.77	1.98	1.32	2.43	2.30	1.00	5.92	0.97	0.01	5.31	1.82±0.58	0.01	5.92
TOC (mg/l)	4.33	2.81	9.39	4.69	2.98	6.80	7.30	4.02	10.38	8.89	7.60	12.24	6.30±2.17	2.81	12.24
TN (mg/l)	3.84	2.77	7.56	4.55	2.77	7.56	7.42	6.13	8.37	7.36	6.19	8.84	5.79±1.87	2.77	8.84

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 คุณภาพน้ำทางเคมีของน้ำออกจากระบบตัวกลางแขวนลอยร่วมกับเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น

Parameter	เดินระบบ 6 ชั่วโมง												Avg.		
	Avg.	Min	Max	Avg.	Min	Max	Avg.	Min	Max	Avg.	Min	Max	Avg.	Min	Max
Turbidity (NTU)	0.51	0.22	0.91	0.86	0.25	2.04	0.68	0.15	1.21	0.76	0.25	2.39	0.70±0.15	0.15	2.39
EC (µs/cm)	300.43	204.20	420.00	320.50	232.00	390.00	498.93	346.60	587.00	384.24	290.70	569.00	376.03 ±89.39	204.20	587.00
pH (pH)	8.36	7.06	10.46	7.60	7.35	7.87	7.54	6.96	7.82	7.65	7.27	7.82	7.79±0.38	6.96	10.46
Color (S.U)	0.98	0.40	1.75	1.21	0.80	2.20	1.38	0.80	1.70	0.75	0.15	1.20	1.08±0.51	0.15	2.20
DO (mg/l)	7.18	6.00	8.00	7.63	7.00	8.40	6.95	6.50	7.50	7.38	6.80	7.70	7.29±0.29	6.00	8.40
SS (mg/l)	0.87	0.33	1.50	0.94	0.00	2.00	1.02	0.00	2.00	0.77	0.00	1.50	0.90±0.11	0.00	2.00
NO^{-}_{3} (mg/l)	1.96	1.23	2.78	1.90	1.20	2.52	2.45	1.43	4.00	2.10	1.23	4.46	2.10±0.25	1.20	4.46
NH^{+}_{4} (mg/l)	1.60	0.75	2.50	1.85	0.89	3.20	2.32	0.70	5.25	1.72	0.01	6.05	1.87±0.32	0.01	6.05
TOC (mg/l)	3.64	2.66	5.03	5.29	3.11	7.21	7.18	3.97	9.89	8.14	7.06	9.54	6.06±2.00	2.66	9.89
TN (mg/l)	3.33	2.00	4.68	3.40	2.40	5.68	7.21	6.02	8.16	7.38	5.94	8.84	5.33±2.27	2.00	8.84

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก5 คุณภาพน้ำทางเคมีของน้ำออกจากระบบเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น

Parameter	เดินระบบ 6 ชั่วโมง												Avg.		
	Avg.	Min	Max	Avg.	Min	Max	Avg.	Min	Max	Avg.	Min	Max	Avg.	Min	Max
Turbidity (NTU)	0.63	0.32	1.23	0.91	0.27	2.35	0.71	0.34	1.53	0.72	0.22	2.39	0.74±0.12	0.22	2.39
EC (µs/cm)	33.72	290.70	380.10	375.80	298.70	427.00	540.00	486.00	597.00	393.88	285.90	576.00	335.85 ±214.42	285.90	597.00
pH (pH)	7.30	6.70	7.60	7.36	5.58	8.98	7.46	7.19	7.73	7.60	7.46	7.82	7.43±0.13	5.58	8.98
Color (S.U)	1.38	1.00	1.68	1.28	0.85	1.95	1.37	1.00	1.75	0.81	0.25	1.50	1.21±0.27	0.25	1.95
DO (mg/l)	6.33	5.50	7.10	6.36	5.90	6.90	6.59	5.90	7.5	6.65	6.00	7.30	6.48±0.16	5.50	7.50
SS (mg/l)	1.33	0.50	2.00	1.41	0.50	2.00	1.00	0.00	2.00	0.92	0.00	2.50	1.17±0.24	0.00	2.50
NO^{-}_{3} (mg/l)	2.13	1.24	3.00	2.13	1.53	2.78	2.36	1.19	3.59	2.16	1.10	4.77	2.20±0.11	1.10	4.77
NH^{+}_{4} (mg/l)	2.52	1.43	4.98	2.08	1.81	2.4	2.58	1.43	5.38	1.72	0.01	0.15	2.23±0.40	0.01	5.38
TOC (mg/l)	7.20	4.58	8.73	6.97	5.36	8.68	7.33	3.98	10.02	8.45	6.32	11.16	7.49±0.66	3.98	11.16
TN (mg/l)	7.28	6.52	7.88	6.65	5.12	8.46	7.27	6.29	8.17	7.38	6.09	8.62	7.15±0.33	5.12	8.62

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก6 ปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์ม (CFU/100 ml) ของน้ำออกจากระบบบำบัดโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ กรุงเทพมหานคร ตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายน

ครั้งที่	น้ำออกจากระบบบำบัด (น้ำเข้าระบบ)
1	270
2	280
3	370
4	800
5	950
6	570
7	800
เฉลี่ย	577

ตารางผนวกที่ ก7 ปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์ม (CFU/100 ml)ของน้ำออกจากระบบตัวกลางแขวนลอย ตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายน

ครั้งที่ 1	น้ำออกจากระบบตัวกลางแขวนลอย		
	2 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง
1	250	220	110
2	100	90	75
3	270	300	330
4	170	530	760
5	530	730	910
6	160	230	400
7	500	700	600
เฉลี่ย	283	400	455

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก8 ปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์ม (CFU/100 ml) น้ำออกจากระบบทรายกรอง ตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายน

ครั้งที่ 1	น้ำออกจากระบบตัวกลางแขวนลอย		
	2 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง
1	200	230	10
2	150	230	120
3	130	140	220
4	730	750	760
5	720	810	830
6	160	210	400
7	240	470	390
เฉลี่ย	333	406	390

ตารางผนวกที่ ก9 ปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมด (CFU/100 ml) ของน้ำออกจากระบบบำบัดของโรงควบคุมคุณภาพน้ำรัตนโกสินทร์ กรุงเทพมหานคร ตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายน

ครั้งที่	น้ำออกจากระบบบำบัด (น้ำเข้าระบบ)
1	200
2	370
3	430
4	980
5	990
6	300
7	960
เฉลี่ย	604

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก10 ปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมด (CFU/100 ml) ของน้ำออกระบบตัวกลางแขวนลอย ตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายน

ครั้งที่	น้ำออกจากระบบตัวกลางแขวนลอย		
	2 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง
1	100	40	20
2	250	170	120
3	270	320	400
4	340	800	960
5	750	800	820
6	190	230	500
7	640	800	700
เฉลี่ย	363	451	503

ตารางผนวกที่ ก11 ปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมด (CFU/100 ml) ของน้ำออกจากระบบทรายกรอง ตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายน

ครั้งที่	น้ำออกจากระบบตัวกลางแขวนลอย		
	2 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง
1	150	60	20
2	180	300	200
3	150	160	250
4	830	890	800
5	680	770	810
6	160	160	600
7	390	410	450
เฉลี่ย	363	393	447

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก12 ปริมาณโคลิฟาจ (PFU/ ml) ในน้ำออกจากระบบบำบัด ตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายน

ครั้งที่	น้ำออกจากระบบบำบัด (น้ำเข้าระบบ)
1	13
2	10
3	8
4	10
5	12
6	10
7	14
8	12
9	13
10	15
เฉลี่ย	12

ตารางผนวกที่ ก13 ปริมาณโคลิฟาจ (PFU/ml) ของน้ำออกระบบตัวกลางแขวนลอย ตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายน

ครั้งที่	น้ำออกจากระบบตัวกลางแขวนลอย		
	2 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง
1	10	9	4
2	3	5	4
3	4	5	3
4	7	9	5
5	4	7	3
6	5	6	4
7	4	7	5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก13 (ต่อ)

ครั้งที่	น้ำออกจากระบบตัวกลางแขวนลอย		
	2 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง
8	5	8	5
9	7	9	5
10	7	4	4
เฉลี่ย	6	7	4

ตารางผนวกที่ ก14 ปริมาณโคลิฟาจ (PFU/ml) ของน้ำออกจากระบบทรายกรอง ตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายน

ครั้งที่	น้ำออกจากระบบทรายกรอง		
	2 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง
1	6	5	4
2	7	2	6
3	3	5	4
4	5	7	4
5	2	5	5
6	4	5	6
7	3	6	8
8	4	5	6
9	8	6	7
10	9	5	10
เฉลี่ย	5	5	6

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก15 ผลการทดสอบ *E.coli* (O&K) Polyvalent Antisera โดยอาศัยการตกตะกอน (Agglutination) ของเชื้อกับ Antiserumของน้ำเข้าระบบ

ตัวอย่าง	Polyvalent I	Polyvalent II	Polyvalent III
1	+	+	+
2	3+	3+	1+
3	+	+	+
4	+	+	+
5	3+	2+	2+
6	+	+	+
7	3+	1+	1+
8	+	+	+
9	2+	3+	2+
10	+	-	-
11	3+	3+	3+
12	-	+	+
13	+	+	+
14	+	+	+
15	3+	3+	3+
16	+	+	+
17	3+	3+	3+
18	3+	3+	3+
19	3+	2+	1+
20	3+	3+	3+

หมายเหตุ: - = ไม่มีการตกตะกอนของเชื้อ (Negative)+ = มีการตกตะกอนของเชื้อ (Positive)

1+ = การตกตะกอนของเชื้อน้อย 2+ = การตกตะกอนของเชื้อปานกลาง

3+ = การตกตะกอนของเชื้อมีจำนวนมากและเห็นได้ชัดเจน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก16 ผลการทดสอบ *E.coli* (O&K) Polyvalent Antisera โดยอาศัยการตกตะกอน (Agglutination) ของเชื้อกับ Antiserum ของน้ำออกจากระบบทรายกรอง

ตัวอย่าง	Polyvalent I	Polyvalent II	Polyvalent III
1	-	+	+
2	+	+	+
3	-	+	+
4	+	+	+
5	3+	3+	3+
6	+	+	+
7	+	-	-
8	3+	3+	3+
9	+	+	-
10	+	+	+
11	+	+	+
12	3+	3+	3+

หมายเหตุ: - = ไม่มีการตกตะกอนของเชื้อ (Negative) + = มีการตกตะกอนของเชื้อ (Positive)

1+ = การตกตะกอนของเชื้อน้อย 2+ = การตกตะกอนของเชื้อปานกลาง

3+ = การตกตะกอนของเชื้อมากและเห็นได้ชัดเจน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก17 ผลการทดสอบ *E.coli* (O&K) Polyvalent Antisera โดยอาศัยการตกตะกอน (Agglutination) ของเชื้อกับ Antiserum ของน้ำออกจากระบบตัวกลางแขวนลอย

ตัวอย่าง	Polyvalent I	Polyvalent II	Polyvalent III
1	-	-	-
2	+	+	+
3	1+	2+	3+
4	1+	2+	3+
5	+	+	-
6	+	+	+
7	3+	3+	3+
8	+	-	-
9	3+	3+	3+
10	-	-	-
11	-	+	+
12	-	+	+
13	-	-	-
14	+	+	+
15	-	+	+
16	2+	3+	1+

หมายเหตุ: - = ไม่มีการตกตะกอนของเชื้อ (Negative) + = มีการตกตะกอนของเชื้อ (Positive)

1+ = การตกตะกอนของเชื้อน้อย 2+ = การตกตะกอนของเชื้อปานกลาง

3+ = การตกตะกอนของเชื้อมากและเห็นได้ชัดเจน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก18 สัดส่วนของสารละลายอัลคาไลน์ซิเตรทและสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ในการเตรียมสารละลายออกซิไดส์ซิงค์ (Oxidizing solution)

สารละลายอัลคาไลน์ซิเตรท (มิลลิลิตร)	สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์หรือclorox/ไฮเตอร์ (มิลลิลิตร)	ปริมาตรรวม (มิลลิลิตร)	จำนวนตัวอย่าง (2.5 มล./1 ตย.)
4	1	5	2
8	2	10	4
12	3	15	6
16	4	20	8
20	5	25	10
24	6	30	12
40	10	50	20
80	20	100	40
100	25	125	50

ตารางผนวกที่ ก19 ค่าสัมประสิทธิ์ของโมเดล Exponential และ Beta Poissonของเชื้อ *E.coli* ก่อโรค

Model	**Beta fit**	
	Parameter	**Value**
Exponential	K^b	1.6×10^7
Beta Poisson	α^c	0.49
	$N_{50}{}^d$	5.96×10^5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ข

วิธีการวิเคราะห์ทางเคมีและจุลชีววิทยา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียในน้ำโดยวิธีฟีเนต (Phenate Method)

การวิเคราะห์ด้วยวิธีฟีเนต(Phenate Method) วิธีการนี้เป็นวิธีหนึ่งใน Standard Methods Edition 20th สามารถวิเคราะห์หาค่าแอมโมเนียในระดับต่ำๆได้ขีดจำกัดการวัด(Detection limit) ด้วยวิธีนี้มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 0.0014 – 2.1 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร(mg-N/L)

โดยใช้หลักการของการทำให้เกิดสีโดยการเติมสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์และฟีนอลลงในตัวอย่างน้ำเพื่อให้ทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียที่ละลายอยู่และมีโซเดียมไนโตรปรัสไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา(คะตะลิส) เพื่อให้เกิดสีได้เป็นสารละลายมีสีฟ้าหรือน้ำเงินความเข้มของสีขึ้นอยู่กับปริมาณของแอมโมเนียในน้ำถ้ามีปริมาณน้อยสีจะจางและจะเข้มขึ้นเมื่อมีปริมาณของแอมโมเนียมากจากนั้นนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์สำหรับใช้ที่ความยาวคลื่น 640 นาโนเมตร(nm) กับคิวเวทหรือ light path ขนาด 1 เซนติเมตร
2. ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร
3. ขวดปรับปริมาตรขนาด 100, 50, และ 25 มิลลิลิตร
4. ปิเปตขนาด 25 และ 5 มิลลิลิตร
5. หลอดหยด
6. พาราฟิน
7. กระดาษกรอง What man No.1

เครื่องแก้วและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์แอมโมเนียทำความสะอาดโดยการล้างด้วยน้ำยาทำความสะอาดและนำไปแช่ในกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ (5%HCL) นาน 1 วันจากนั้นนำมาล้างด้วยน้ำกลั่น de-ionized จนหมดกรดคว่ำรอให้แห้งแล้วจึงนำมาใช้ (กรณีเครื่องแก้วไม่สะอาดจะทำให้ผลการวิเคราะห์คลาดเคลื่อนได้)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารละลาย/น้ำยาเคมีที่ใช้

1. น้ำกลั่น de-ionized
2. สารละลายฟีนอล
3. สารละลายโซเดียมไนโตรปรัสไซด์
4. อัลคาไลด์ซิเตรท
5. สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (ใช้cloroxหรือไฮเตอร์แทนได้)
6. สารละลายออกซิไดส์ซิงค์ (oxidizing solution)
7. สารละลายสต็อกแอมโมเนียความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร (1,000 ppm)
8. สารละลายมาตรฐานแอมโมเนียความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร (100 ppm)
9. สารละลายมาตรฐานแอมโมเนียความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร (10 ppm)

วิธีเตรียมสารละลาย/น้ำยาเคมีที่ใช้

1. น้ำกลั่น de-ionized

ใช้สำหรับเตรียมสารละลายแบลงค์สารละลายมาตรฐานและใช้ในการเจือจางตัวอย่าง น้ำกลั่นที่ใช้ควรได้จากการกลั่นใหม่ๆ

2. สารละลายฟีนอล

ละลายฟีนอล (C_6H_5OH) 5 กรัมในเอธิลแอลกอฮอล์ 95%V/V 50 มิลลิลิตรให้เตรียมใช้แต่ละอาทิตย์ **ข้อควรระวัง** ในการเตรียมสารละลายฟีนอลควรทำในเครื่องดูดควันและสารพิษ (Hood) ควรสวมถุงมือแว่นตาและหน้ากาก (Mask) ป้องกันไอกรดและสารระเหย

3. สารละลายโซเดียมไนโตรปรัสไซด์

ละลายโซเดียมไนโตรปรัสไซด์ ($Na_2Fe(CN)_5NO.2H_2O$) 0.5 กรัมในน้ำกลั่น (de-ionized) 100 มิลลิลิตรเก็บสารละลายนี้ในขวดแก้วสีชาสารละลายนี้มีอายุ 1 เดือน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. อัลคาไลด์ซิเตรท

ละลายไตรโซเดียมซิเตรทไดไฮเดรต ($Na_3C_6H_5O_7.2H_2O$) (analytical reagent grade) 20 กรัมและโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (analytical reagent grade) 1 กรัมในน้ำกลั่น (de-ionized) 100 มิลลิลิตร

5. สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์

6. สารละลายออกซิไดส์ซิงค์ (oxidizing solution)

ผสม 100 มิลลิลิตรของอัลคาไลน์ซิเตรทกับ 25 มิลลิกรัมของโซเดียมไฮโปรคลอไรท์ (คลอร็อก(clorox) หรือไฮเตอร์) เข้าด้วยกันหรือในอัตราส่วน 4:1 (ตามตารางที่ 1) สารละลายนี้ควรเตรียมใหม่ทุกวัน

7. สารละลายมาตรฐานสต็อกแอมโมเนียความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร (1,000 ppm)

ละลาย NH_4CI 3.819 กรัม (อบให้แห้งที่ 100 องศาเซลเซียสนาน 2 ชั่วโมง) ในน้ำกลั่น (de-ionized) เติมน้ำกลั่นจนครบ 1,000 มิลลิลิตร

1.0 มิลลิลิตร = 1 มิลลิกรัมไนโตรเจน = 1.22 มิลลิกรัมแอมโมเนีย

8. สารละลายมาตรฐานแอมโมเนียความเข้มข้น100 มิลลิกรัม/ลิตร (100 ppm)

นำ 10.00 มิลลิลิตรของสารละลายสต๊อกแอมโมเนีย (1,000 ppm) มาเจือจางด้วยน้ำกลั่น (de-ionized) จนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

9. สารละลายมาตรฐานแอมโมเนียความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร (10 ppm)

นำ 1.00 มิลลิลิตรของสารละลายสต๊อกแอมโมเนีย (1,000 ppm) มาเจือจางด้วยน้ำกลั่น (de-ionized) จนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างที่เก็บมาใหม่ๆกรองด้วยกระดาษกรอง What man No.1 เพื่อให้ตัวอย่างใส ปราศจากตะกอนและสารแขวนลอยซึ่งจะมีผลต่อการวิเคราะห์ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ซึ่งใช้หลักการของการดูดกลืนแสงที่ส่องผ่านตัวอย่าง

วิธีการวิเคราะห์

1. ตวงตัวอย่างน้ำที่ผ่านการกรองแล้วปริมาตร 25.0 มิลลิลิตรใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร

2. เติมสารละลายฟีนอลจำนวน 1 มิลลิลิตรเขย่าให้เข้ากัน

ข้อควรระวัง ในการเติมสารละลายฟีนอลควรทำในเครื่องดูดควันและไอกรด (Hood) ควรสวมถุงมือแว่นตาและหน้ากาก (Mask) ป้องกันไอกรดและสารระเหย

3. เติมสารละลายโซเดียมไนโตรปรัสไซด์จำนวน 1 มิลลิลิตรเขย่าให้เข้ากัน

4. เติม oxidizing solution จำนวน 2.5 มิลลิลิตรเขย่าให้เข้ากัน

5. ปิดตัวอย่างโดยใช้ paraffin wrapper film แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เกิดสีที่อุณหภูมิห้อง 22 – 27 องศาเซลเซียสในที่ๆแสงไม่จ้าอย่างน้อย 1 ชั่วโมงสีที่เกิดขึ้นจะอยู่ตัว 24 ชั่วโมง

6. นำตัวอย่างมาวัดค่า absorbance ที่ความยาวคลื่น 640 นาโนเมตร(nm) เตรียมแบลงค์และสารละลายมาตรฐานอย่างน้อย 2 ความเข้มข้นให้อยู่ในช่วงของเส้นตรงกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียในการวิเคราะห์ให้ทำทุกอย่างเหมือนตัวอย่าง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเตรียม calibration curve

การทำ calibration curve ทำโดยปิเปตสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียตามตารางที่ 2 และเลือกใช้ความเข้มข้นให้เหมาะสมโดยใช้สารละลายมาตรฐานแอมโมเนียความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร (100 ppm) และปิเปตสารละลายลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตรดังนี้ 0, 0.01, 0.05, 0.10, 0.50, 1.00 และ 2.00 มิลลิลิตรเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตรจะได้อนุกรมของสารละลายมาตรฐานซึ่งมีความเข้มข้นของแอมโมเนีย 0, 0.01, 0.05, 0.10, 0.50, 1.00 และ 2.00 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตรตามลำดับให้ทำทุกอย่างเหมือนตัวอย่าง

การคำนวณ

$$\text{mg/L ammonia as N} = \frac{A}{C} \times \frac{B}{S} \times \frac{D}{E}$$

เมื่อ A = ค่าแอบสอบแบนซ์ของตัวอย่าง

B = มิลลิกรัมแอมโมเนียไนโตรเจนมาตรฐานที่นำมาใช้

C = ค่าแอบสอบแบนซ์ของสารละลายมาตรฐาน

S = มิลลิลิตรของตัวอย่างที่ใช้

D = ปริมาตรทั้งหมดของ distillate เป็นมิลลิลิตร

E = ปริมาตรของ distillate ที่ใช้ในการเกิดสีเป็นมิลลิลิตร

อัตราส่วน$\frac{D}{E}$ใช้กับตัวอย่างที่ทำการกลั่นเท่านั้นถ้าไม่ได้ทำการกลั่นไม่ต้องใช้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการวิเคราะห์หาไนเตรทด้วยวิธีบรูซีนสำหรับน้ำเสียและน้ำทะเล

หลักการ บรูซีน (Brucine) จะรวมกับไนเตรทเกิดเป็นสารสีเหลืองภายใต้สภาวะที่เป็นกรดและอุณหภูมิสูง ซึ่งสามารถวัดความเข้มข้นของสีที่เกิดขึ้น ที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. สเปกโทรโฟโตมิเตอร์
2. เครื่องอังน้ำ (water bath)
3. ที่วางหลอดทดลอง
4. หลอดทดลองขนาดบรรจุน้ำได้ 50 มล.

สารเคมี

1. สารละลายสต็อกไนเตรท (Stock Nitrate Solution)

สารละลายแอนไฮดรัสไนเตรท (KNO_3) 721.8 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางให้เป็น 1 ลิตร สารละลายนี้ 1.00 มล. มีไนเตรท –ไนโตรเจน 100 ไมโครกรัม หรือ 100 มก./ล.NO^-_3-N

2. สารละลายมาตรฐานไนเตรท (Standard Nitrate Solution)

นำสารละลายสต๊อกไนเตรท 20.0 มล. เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1,000 มล. สารละลายนี้ 1.00 มล. มีไนเตรท – ไนโตรเจน 2 ไมโครกรัม หรือ 2 มก./ล. NO^-_3-N

3. สารละลายโซเดียมอาร์เซไนต์

สารละลายโซเดียมอาร์เซไนต์ ($NaAsO_2$) 5.0 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเติมให้เป็น 1 ลิตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. สารละลายบรูซีน– กรดซัลฟานิลิค (Brucine – Sulfanilic Acid Solution)

สารละลายบรูซีนซัลเฟต (Brucine Sulfate) 1 กรัม และกรดซัลฟานิลิค0.1 กรัม ในน้ำร้อน 70 มล. เติมกรดเกลือเข้มข้น 3 มล. ทำให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่นให้ครบ 100 มล. สารละลายนี้จะคงตัวอยู่ได้หลายเดือน ถ้ามีสีชมพูเกิดขึ้นจะไม่มีผลต่อการวิเคราะห์

5. สารละลายกรดซัลฟูริก (4+1)

ค่อยๆเทกรดซัลฟูริกเข้มข้น 500 มล. ลงในน้ำกลั่น 125 มล. ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

6. สารละลายโซเดียมคลอไรด์

สารละลายโซเดียมคลอไรด์300 กรัมในน้ำกลั่นแล้วเติมให้ครบ 1 ลิตร

วิธีการวิเคราะห์

1. การสร้างกราฟมาตรฐาน

1.1 จัดหลอดทดลองลงในที่วางหลอดให้ห่างกันพอสมควร

1.2 ปิเปตสารละลายมาตรฐานไนเตรทความเข้มข้น 2 มก/ล. จำนวน 1,2,3,4 และ 5 มก. ใส่ในหลอดทดลองแต่ละหลอดที่จัดเตรียมไว้ แล้วเติมน้ำกลั่นให้แต่ละหลอดมีปริมาตรครบ 10 มล. ซึ่งแต่ละหลอดจะมีความเข้มข้น 2,4,6,8 และ 10 ไมโครกรัม ตามลำดับ แบลงค์ใช้น้ำกลั่น10มล. โดยไม่เติมสารละลายมาตรฐานไนเตรต

1.3 เติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 2 มล. ใช้แท่งแก้วคนในหลอดทดลองให้เข้ากัน

1.4 เติมกรดซัลฟุริค (4+1) จำนวน 10 มล.คนให้ทั่ว นำหลอดทดลองที่ร้อนไปแช่น้ำ

1.5 เมื่อเย็นแล้วนำมาเติมสารละลายบรูซีน-กรดซัลฟานิลิค 0.5 มล.คนให้เข้ากัน นำหลอดไปใส่ในเครื่องอังน้ำซึ่งมีอุณหภูมิ 95^0ซ (ควรเตรียมเครื่องอังน้ำไว้ก่อน เพราะเวลาจะนำไปแช่จะได้มีอุณหภูมิ 95^0ซ พอดี) เป็นเวลา 20 นาที

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.6 เมื่อครบเวลานำหลอดทดลองทั้งหมดมาแช่ในอ่างน้ำเย็น ทิ้งไว้จนมีอุณหภูมิเท่าอุณหภูมิห้อง นำไปวัด Absorbance ที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร พล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นเป็นไมโครกรัมกับ Absorbanceที่ได้ดังตัวอย่างที่แสดงในภาพผนวกที่ 1

วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

1. จัดหลอดทดลองลงวางในที่ตั้งหลอดทดลอง ปิเปตตัวอย่างน้ำ 10 มล. หรือ ปริมาณน้อยกว่าแล้วเติมน้ำให้เป็น 10 มล. ใส่ลงในหลอดทดลอง

2. แล้วทำตามขั้นตอนเหมือนทำกราฟมาตรฐาน และวัด Absorbance นำมาอ่านค่าความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน

การคำนวณ

$$\text{ไนเตรท – ไนโตรเจน (มก./ล.)} = \frac{\text{ไมโครกรัมที่อ่านได้จากราฟ}}{\text{ปริมาตรตัวอย่างน้ำ(มล.)}}$$

วิธีการวิเคราะห์หาแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดด้วยวิธีการกรองด้วยเยื่อกรอง (Membrane Filtration)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัสดุและอุปกรณ์

1. ขวดเก็บตัวอย่างน้ำปราศจากเชื้อ
2. ชุดกรอง
3. ปากคีบ
4. แผ่นเยื่อกรอง (Membrane filter) ที่มีรูพรุนขนาด 0.45 ไมครอน ปราศจากเชื้อ
5. ปิเปตปราศจากเชื้อขนาด 10มล. 1.0 มล. และ 0.1 มล.
6. บีกเกอร์
7. ตะเกียงแอลกอฮอล์
8. Vacuum pump
9. ตู้บ่มเชื้อ

สารเคมีและอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. Chromocult
2. Nutrient agar
3. น้ำกลั่นปราศจากเชื้อ
4. 95% แอลกอฮอล์

วิธีการ

1. เตรียมชุดกรองที่ปราศจากเชื้อ และใช้ปากคีบที่เผาไฟฆ่าเชื้อแล้ว คีบแผ่นเยื่อกรอง (Membrane filter) วางลงบนชุดกรอง แล้วใช้ clamp ยึดกรวยแก้วกับแท่นรองเยื่อกรองให้แน่น

2. ต่อชุดกรองเข้ากับ Vacuum pump แล้วจึงค่อยๆเทตัวอย่างน้ำที่ต้องการตรวจวิเคราะห์ปริมาตร 100 มล. ลงในกรวยแก้ว (ปริมาตรของน้ำที่นำมากรองขึ้นกับความสะอาดของน้ำ แต่ไม่ควรน้อยกว่า 10มล. ถ้าปริมาตรน้อยกว่า 10 มล. ให้เติมน้ำกลั่นปราศจากเชื้อลงไป 10 มล.)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. เปิด pump เพื่อดูดตัวอย่างน้ำผ่านแผ่นเยื่อกรอง และเมื่อน้ำผ่านเยื่อกรองหมดแล้วจึงปิด pump แล้วใช้ปากคีบที่เผาไฟฆ่าเชื้อ คีบแผ่นเยื่อกรองไปวางบนอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยระวังไม่ให้เกิดฟองอากาศใต้แผ่น

4. นำจานเพาะเชื้อไปบ่มที่อุณหภูมิ 44.5 ^{0}ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

5. ตรวจนับจำนวนโคโลนีที่ขึ้นบนแผ่นเยื่อกรอง ในกรณีที่ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อเป็น EMB (Eosin Methylene Blue)

Enterobacter sp. : โคโลนีมีลักษณะเป็นสีชมพูถึงแดงเข้ม

E.coli : โคโลนีมีลักษณะเงา วาวคล้ายโลหะ (Metallic sheen)

ในที่นี้ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อแบบ Selective media ที่จะพิจารณาเฉพาะ *E.coli*ซึ่งให้โคโลนีสีน้ำเงิน

6. การคำนวณจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มต่อตัวอย่างน้ำ 100 มล.

$$\text{Coliform bacteria /100 มล.} = \frac{\text{จำนวนโคโลนีของแบคทีเรียโคลิฟอร์มที่นับได้บนแผ่นเยื่อกรอง}}{\text{ปริมาตรตัวอย่างน้ำที่ใช้}} \times 100$$

วิธีการวิเคราะห์โคลิฟาจ(Coliphage)

สารเคมีที่ใช้คือ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. Nutrient Agar และ Soft Nutrient Agar
2. Nutrient Broth
3. Calcium Chloride 1.5 %

วิธีการวิเคราะห์Coliphage

1. ขั้นตอนการเตรียมเชื้อ *E. Coli* เมื่อได้รับจากศูนย์ที่สั่งเชื้อ มีวิธีการดังนี้

1.1 สั่งซื้อเชื้อ *E. Coli* จากสถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) สายพันธุ์ *E. Coli*TISTR 780

1.2 นำเชื้อจาก 1.2 มาทำการเพาะเลี้ยงเชื้อ (Recovery)ดังนี้

1.2.1 การเปิดหลอดเมื่อได้รับจากศูนย์เก็บรวบรวมเชื้อสิ่งที่ต้องทำ คือการตรวจดูหมายเลขเชื้อชื่อเชื้อและความต้องการจำเพาะต่อการเจริญถ้าในหลอดมีซิลิกาเจลให้ตรวจดูว่ามีสีน้ำเงินไหมหรือตรวจสุญญากาศด้วย high frequency tester และต้องเปิดหลอดตามวิธีการที่ศูนย์นั้นแนะนำไว้

1.2.2 การเปิดควรทำด้วยความระมัดระวังเพราะเชื้อในลักษณะแห้งนั้นเบามากอาจกระเด็นออกมาได้ควรทำให้หลอดแตกอย่างเบาๆและปล่อยให้อากาศเข้าไปอย่างช้าๆโดยใช้ตะไบทำให้หลอดเป็นรอยบริเวณตรงกลางของจุกสำลีที่อยู่ข้างในหลอดและใช้แท่งแก้วลนไฟให้ร้อนแดงจี้ให้แตกซึ่งจุกสำลีจะยังอยู่ข้างในทำให้อากาศเข้าไปทีละน้อย

1.2.3 หลังจากนั้นประมาณ 1 นาทีความดันของอากาศภายในและภายนอกจะเท่ากันนำส่วนบนของหลอดออกไปโดยจุกสำลียังติดอยู่กับหลอดอีกส่วนหนึ่งนำจุกสำลีออกและสวมจุกสำลีใหม่ที่ปราศจากเชื้อแทน (ส่วนที่ถูกตัดออกและสำลีเก่ายังมีเชื้อปะปนอยู่จึงควรนำไปฆ่าเชื้อก่อน)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.2.4 ต่อมาใช้พาสเจอร์ปิเปตดูดอาหารเหลวใส่ลงไปในเชื้อที่ทำแห้งภายในหลอดและผสมเบาๆซึ่งจะเห็นว่าเชื้อละลายเกือบทันทีระหว่างที่ผสมไม่ควรทำให้กระเด็นและเกิดฟองอากาศ(ขั้นตอนการนำเชื้อออกมาเพาะเลี้ยงดังภาพที่ 1)

1.2.5 โดยทั่วไปคิดว่าเชื้อที่นำออกมาต้องเจริญแน่นอนจึงมักย้ายสารละลายเชื้อเพียง 2-3 หยดไปหยดลงบนอาหารที่เหมาะสมการตรวจสอบเชื้อปะปนง่ายๆควรทำบนอาหารวุ้นและนำแผ่นกระดาษที่มีหมายเลขเชื้อออกมาวางบนอาหารด้วยเพื่อป้องกันการเขียนรหัสผิดพลาด

2. การเลี้ยงเชื้อ *E. Coli* เพื่อใช้เป็นโฮสต์ของโคลิฟาจมีวิธีการดังต่อไปนี้

2.1 ทำการเขี่ยเชื้อ*E. coli* จากStock Agar Slant ที่ทำการถ่ายเชื้อมาจากขั้นตอนที่ 1 (จากสถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) สายพันธุ์ *E. Coli* TISTR 780)

2.2 ลงในอาหารเหลวชนิด Nutrient Broth 5มล.

2.3 นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 ^{0}ซ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

3. ขั้นตอนการเตรียมน้ำตัวอย่าง

3.1 ทำการ Centrifuge samples at 9,000 rpm, 10 min, 4°c

3.2 จากนั้นใช้ปิเปตดูดตะกอนของน้ำตัวอย่างที่ติดอยู่ด้านข้างของหลอดCentrifuge

3.3 ทำการกรองตัวอย่างด้วย cellulose acetate membrane (0.45 µm)บรรจุอยู่ภายในตัวกรองที่มีลักษณะคล้ายลูกข่างที่ต้องปราศจากเชื้อ

4. ขั้นตอนการวิเคราะห์โคลิฟาจมีขั้นตอนดังนี้ (ดัดแปลงมาจากSeeley and Vandemark, 1981)

4.1 นำ Soft Nutrient Agar 4 มล.มาอุ่นเพื่อให้ได้อุณหภูมิ 45-50 ^{0}ซ

4.2 เติมน้ำตัวอย่าง1 มล. ลงไปในแต่ละหลอดของSoft Nutrient Agar

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.3 เติม*E.Coli*culture ลงไป1.0 มล. และ $CaCl_2$ลงไป0.5 มล.ทำการเขย่าให้เข้ากัน

4.4 จากนั้นนำไปเทลงบน plate โดยเททับNutrient Agar

4.5 บ่มที่อุณหภูมิ 37 ^{0}ซเป็นเวลา 24 ชั่วโมงและนับจำนวน plaques ในแต่ละ plate

วิธีการวิเคราะห์ Serotype

E.coli (O&K) Polyvalent Antiserum ใช้สำหรับตรวจวินิจฉัยเชื้อ *Escherichia coli*ทาง Serological test อาศัยหลักของการตกตะกอน (Agglutination) ของเชื้อกับ Antiserum แสดงไว้ในภาพที่ 4ผลิตขึ้นโดยนำเชื้อ*Escherichia coli* สายพันธุ์มาตรฐานฉีดเข้ากับกระต่ายเพื่อให้สร้าง Antibody หลังจากนั้นทำการแยก Antiserum เพื่อให้ได้ Specific Antibody โดยวิธีการ Adsorption เพื่อแยก Non – specific agglutinins ออกไป

Antiserum ที่ผลิตได้จะใส่สารกันเสีย 0.1 % Sodium azideซึ่งสารนี้ทำหน้าที่ป้องกันการปนเปื้อนไม่ให้ Antiserum เสียระหว่างการขนส่งและตลอดอายุการใช้งาน และในกรณีที่นำ Antiserum มาใช้งานเสร็จแล้วควรเก็บที่ 2-8 ^{0}ซ

วิธีใช้

เชื้อ*E.coli*ที่จะนำมาทดสอบทาง Serological test ต้องผ่านขั้นตอนการทดสอบทาง Biochemical test เบื้องต้นก่อน จึงจะทำการทดสอบทางSerological test และก่อนทดสอบด้วย Antisera ควรนำเชื้อมาทดสอบกับน้ำเกลือ (Normal saline) เพื่อตรวจสอบว่าเชื้อเป็นชนิด smooth colony หรือ rough colonyแสดงไว้ในภาพที่ 5เลือก smooth colony มาทำการทดสอบดังนี้แสดงไว้ในภาพที่ 6

1. หยด Polyvalent (O&K) antiserum I II และ III อย่างละ 1 หยดลงบน slide

2. ใช้ Platinum wire ตักเชื้อจากอาหารเลี้ยงเชื้อ (TSAagar) จำนวนเล็กน้อยนำมาผสมกับ Antiserum เอียง Slide กลับไปกลับมา 1 นาที

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. อ่านผลการเกิด Agglutination ถ้าให้ผล positive กับชนิดใด จึงทดสอบหา Group โดยใช้ Group specific antiserum ทดสอบต่อไป

4. กรณีที่เชื้อเกิดการตกตะกอนกับน้ำเกลือ (rough)ให้นำเชื้อประมาณ 2loop ละลายในน้ำเกลือจำนวน 1มล. นำไปต้มที่ 100^{0}ซ นาน 1 ชั่วโมง ภายหลังจากการต้มเชื้อต้องไม่ตกตะกอนกับน้ำเกลือนำเชื้อที่ได้ไปทดสอบใหม่ตั้งแต่ข้อ 1

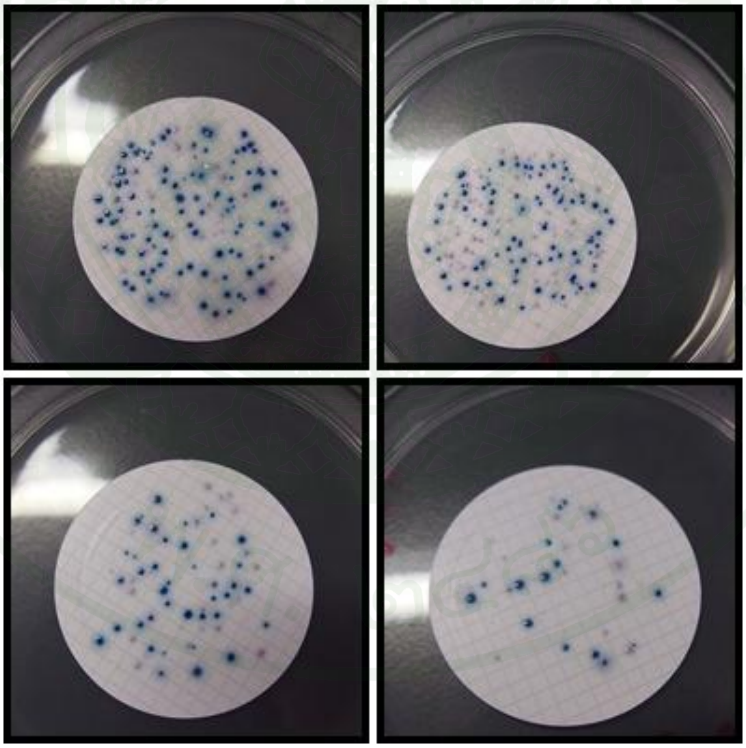
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ค

อุปกรณ์การวิเคราะห์และขั้นตอนการวิเคราะห์

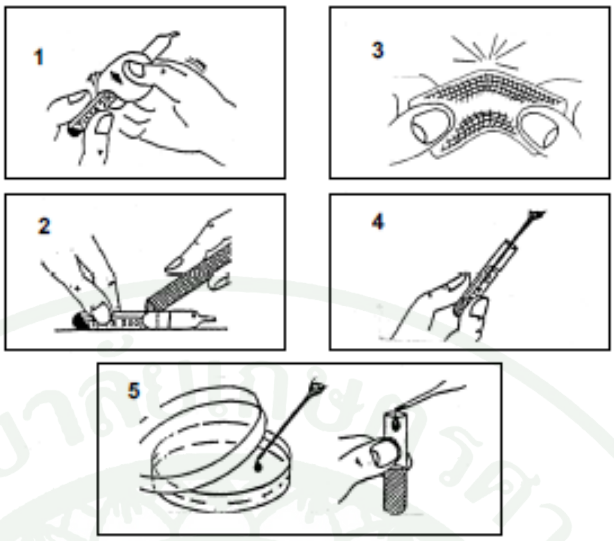
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพผนวกที่ ค1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มด้วยวิธี เยื่อกรอง (Membrane Filtration)

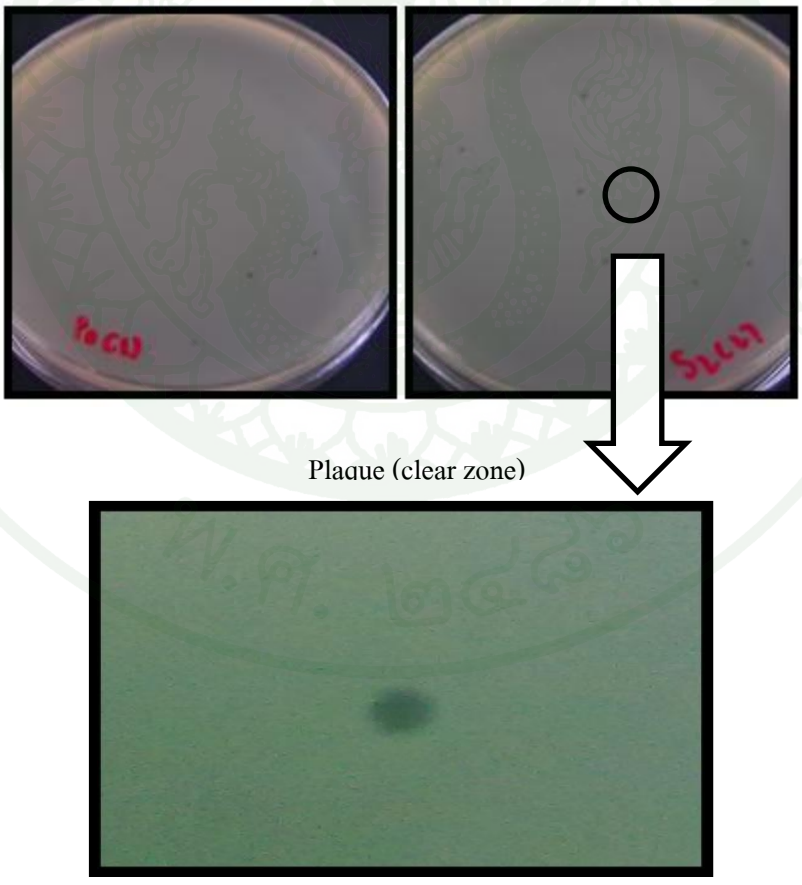


ภาพผนวกที่ ค2 จำนวนโคโลนีของ *E.coli* ที่เกิดขึ้นบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Chromocult โคโลนีมีลักษณะสีน้ำเงิน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



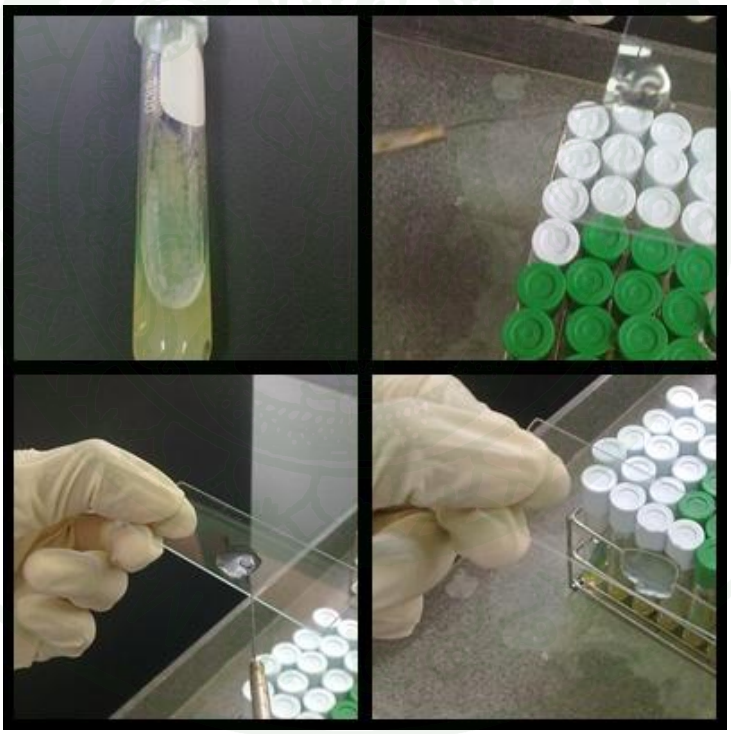
ภาพผนวกที่ ค3 ขั้นตอนการนำเชื้อออกมาเพาะเลี้ยง



ภาพผนวกที่ ค4 Plaques ที่เกิดขึ้นบน Nutrient Agar

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพผนวกที่ ค5 *E.coli* (O&K) Polyvalent Antiserum

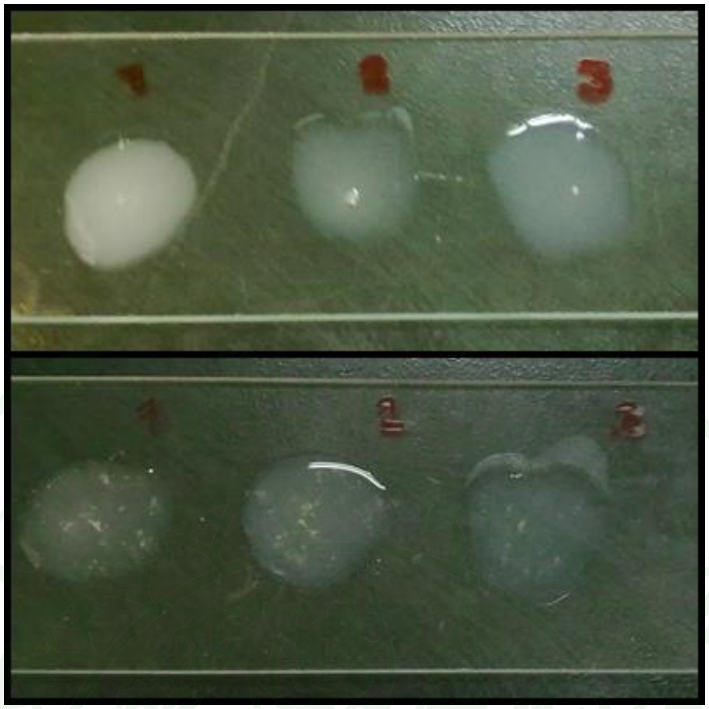


ภาพผนวกที่ ค6 นำเชื้อมาทดสอบกับน้ำเกลือ (Normal saline) เพื่อตรวจสอบว่าเชื้อเป็นชนิด smooth colony หรือ rough colony

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพผนวกที่ ค7 ขั้นตอนการทดสอบ Serological test

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ ค8 ผลการเกิด Agglutination ก) ภาพด้านบน : ให้ผล negative

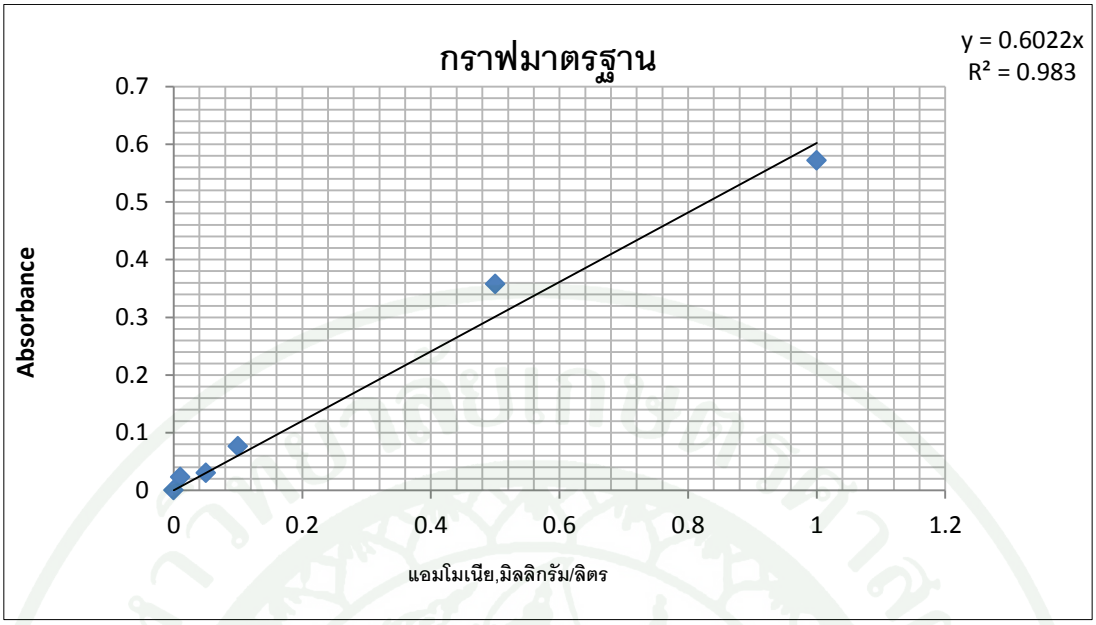
ข) ภาพด้านล่าง : ให้ผล positive

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

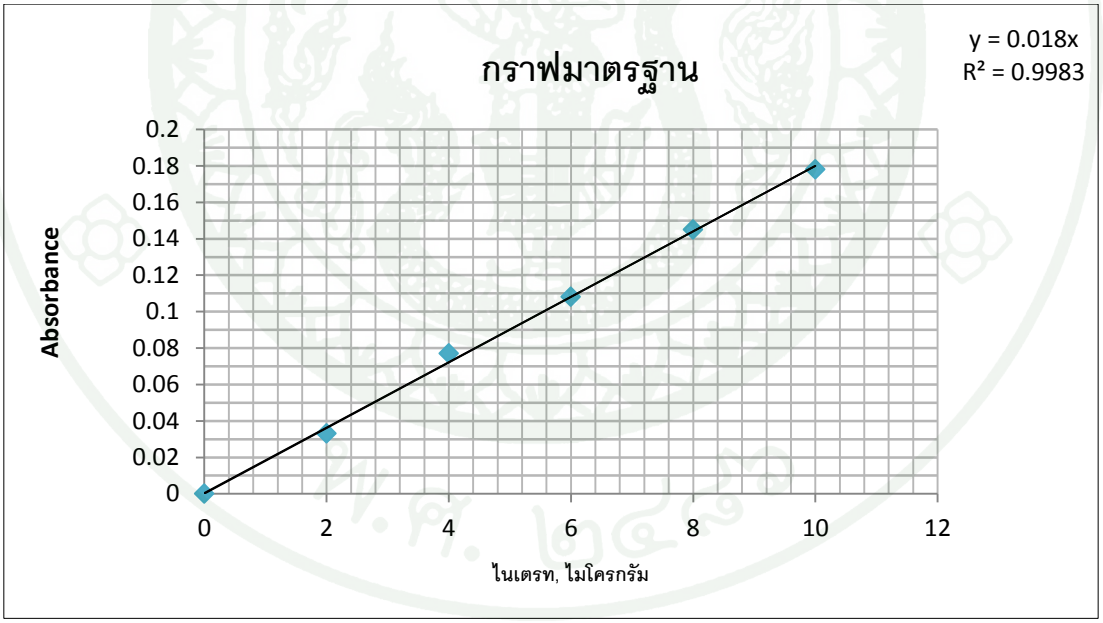
ภาคผนวก ง

กราฟมาตรฐาน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ ง1 กราฟมาตรฐานแอมโมเนีย โดยวิธีฟีเนต



ภาพผนวกที่ ง2 กราฟมาตรฐานไนเตรท โดยวิธีบรูซีน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก จ

การคำนวณความเสี่ยงของเชื้อ *E. coli* และbiomassของระบบตัวกลางแขวนลอย
ระบบตัวกลางแขวนลอยร่วมกับเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นและเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่นโดยตรง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การคำนวณค่าของเสี่ยงของ *E.coli*

โมเดล Exponential $\pi = 1 - exp(-\frac{d}{k})$

โมเดล Beta Poisson $\pi = 1 - \left[1 + \frac{d}{N_{50}}\left(2^{\frac{1}{\alpha}} - 1\right)\right]$

โดยกำหนดค่า d คือ จำนวนของเชื้อ *E.coli* และค่าอื่นๆ

จากนั้นแทนค่าต่างๆลงในสมการ โดยกำหนดค่า d ของน้ำเข้า เท่ากับ 4464

d ของน้ำผ่านระบบทรายกรอง เท่ากับ 390

d ของน้ำผ่านระบบตัวกลางแขวนลอย เท่ากับ 1788

แสดงการคำนวณของน้ำเข้าระบบ d= 4464

จากสมการของ Exponential $\pi = 1 - exp(-\frac{d}{k})$

$$\pi = 1 - exp(-\frac{4464}{1.6 \times 10^7})$$

$$\pi = 1 - exp(-2.79 \times 10^{-4})$$

$$\pi = 1 - exp(-0.000279)$$

$$\pi = 1 - 0.999721$$

$$\pi = 2.79 \times 10^{-4}$$

เพราะฉะนั้นจะได้ค่าความเสี่ยงตามโมเดลของ Exponential= 2.79×10^{-4}

จากสมการของ Beta Poisson $\pi = 1 - \left[1 + \frac{d}{N_{50}}\left(2^{\frac{1}{\alpha}} - 1\right)\right]$

$$\pi = 1 - \left[1 + \frac{4464}{5.96 \times 10^5}\left(2^{\frac{1}{0.49}} - 1\right)\right]$$

$$\pi = 1 - [1 + (7.4899 \times 10^{-3})(2^{2.041} - 1)]$$

$$\pi = 1 - [1 + (7.4899 \times 10^{-3})(4.1148 - 1)]$$

$$\pi = 1 - [1 + (7.4899 \times 10^{-3})(3.1148 - 1)]$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$\pi = 1 - [1 + 0.0233]$$

$$\pi = 2.33 \times 10^{-2}$$

เพราะฉะนั้นจะได้ค่าความเสี่ยงตามโมเดลของ Beta Poisson $= 2.33 \times 10^{-2}$

ระบบทรายกรองคำนวณเช่นเดียวกับน้ำเข้าระบบ โดยที่แทนค่า dลงในสมการทั้งสองได้ค่าดังนี้

สมการ Exponential $= 2.43 \times 10^{-5}$

สมการ Beta Poisson $= 2.04 \times 10^{-3}$

ระบบตัวกลางแขวนลอย คำนวณเช่นเดียวกับน้ำเข้าระบบ โดยที่แทนค่า d ลงในสมการทั้งสองได้ค่าดังนี้

สมการ Exponential $= 1.12 \times 10^{-4}$

สมการ Beta Poisson $= 9.34 \times 10^{-3}$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การคำนวณ Biomass ที่เกิดขึ้นบนเม็ดพลาสติก

ก่อนทดสอบ จำนวนเม็ดพลาสติกที่ใช้ = 40 เม็ด ชั่งน้ำหนักได้ = 1.0424 กรัม (g)

$$\text{น้ำหนักเม็ดพลาสติกเปล่า 1 เม็ด} = \frac{1 \text{ เม็ด} \times 1.0424 \text{ g}}{40 \text{ เม็ด}} = 0.026 \text{ g}$$

$$\therefore \text{ 1 เม็ด} = 0.026 \text{ g}$$

หลังทดสอบ จำนวนเม็ดพลาสติกที่ใช้ 40 เม็ด ชั่งน้ำหนักได้ = 1.2227 กรัม (g)

$$\text{น้ำหนักเม็ดพลาสติกเปล่า 1 เม็ด 1 เม็ด} = \frac{1 \text{ เม็ด} \times 1.2227 \text{ g}}{40 \text{ เม็ด}} = 0.031 \text{ g}$$

$$\therefore \text{ 1 เม็ด} = 0.031 \text{ g}$$

ของแข็งบนเม็ดพลาสติก = หลังทดสอบ - ก่อนทดสอบ

$$= 0.031 - 0.026 \text{ g}$$

$$= 0.005 \text{ g} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 5 \text{ mg}$$

ดังนั้น ของแข็งบนเม็ดพลาสติก = 5 mg/เม็ด

หาปริมาตรของตัวกลางแขวนลอยในถังพลาสติก

สูตร $= \pi r^2 \times h$ โดยที่ r = 0.05 m , ความสูงของชั้นเม็ดพลาสติก = 0.6 m

$$= 3.14 \times (0.05 \text{ m}^2) \times 0.6 \text{ m}$$

$$= 4.17 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

ขนาดของเม็ดพลาสติกโพลีโพรพิลีน 3.8 mm (Ø) r = 3.8/2 =1.9 mm $\longrightarrow$ r = 1.9×10^{-3} m

ปริมาตร 1 เม็ด ทรงกลม $= \frac{4}{3}\pi r^3$

$$= \frac{4}{3} \times 3.14 \times (1.9 \times 10^{-3} \text{m})^3$$

$$= 1.33 \times 3.14 \times (6.86 \times 10^{-9}) \text{ m}^3$$

$$= 28.65 \times 10^{-9} \text{m}^3$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สมมุติให้มีความพรุนระหว่างเม็ดพลาสติก = 0.5 m^3/m^3

จำนวนเม็ดพลาสติกทั้งหมดที่ใช้โดยประมาณ $= \frac{\text{ปริมาตรของชั้นตัวกลางแขวนลอยในถัง}}{\text{ปริมาตรของ 1 เม็ดทรงกลม}} \times 0.5$

$= \frac{4.71 \times 10^{-3}\ \cancel{m^3}}{28.65 \times 10^{-9} \cancel{m^3}} \times 0.5$

$= 0.082 \times 10^6 = 82{,}000$ เม็ด

พื้นที่ผิวทรงกลมของเม็ดพลาสติก = $4\pi r^2$ โดยที่ r = 1.9 mm $\longrightarrow$ r = 1.9×10^{-3} m

$= 4 \times 3.14 \times (1.9 \times 10^{-3}\ m)^2$

$= 45.34 \times 10^{-6}\ m^2/$ เม็ด

$= 45.34\ mm^2/$ เม็ด

∴Biomass บนพื้นที่ผิวทรงกลม 1 เม็ด $= \frac{5\ mg/\cancel{\text{เม็ด}}}{45.34\ mm^2/\cancel{\text{เม็ด}}}$

$= 0.11 mg/mm^2$

$= 109\ \mu g/mm^2$

ดังนั้น พื้นที่ทั้งหมด $= (45.34\ mm^2/\text{เม็ด}) \times (82{,}000\ \text{เม็ด})$

$= 3.71\ m^2$

∴Biomass ทั้งหมด $= 109\ \mu g/mm^2 \times 3.71\ m^2$

$= \frac{109 \times \cancel{10^{-6}} g/\cancel{mm^2} \times 3.71 \cancel{m^2}}{\cancel{10^{-6} m^2}/\cancel{mm^2}}$

$= 404.39$ g

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หาปริมาณ Total coliform, Fecal coliform and coliphage

1. Total coliform = 5.6 x 10^3 CFU/100 ml

การสกัดเชื้อจากเม็ดพลาสติก 15 เม็ด ใน 100 ml , (พื้นที่รวม = 15 x 45.34 x $10^{-6}$$m^2$/เม็ด

= 680 x$10^{-6}$$m^2$ = 680 mm^2)

∴จะได้มวลเชื้อต่อปริมาตร = 5 mg . เม็ด x 15 เม็ด = 75 mg/ 100 ml

∴ Total coliform = $\frac{5.6 \times 10^3 \text{ CFU}/\cancel{100 \text{ ml}}}{75 \text{ mg}/\cancel{100 \text{ ml}}}$ = 74.67 CFU /mg

ดังนั้นปริมาณ Total coliform (CFU/m^2) = $\frac{5.6 \times 10^3 \text{ CFU}}{680\ mm^2}$ = 8.2 CFU/mm^2 = 8.2 x 10^6 CFU/m^2

2. Fecal coliform = 3.4 x 10^3 CFU/100 ml

∴จะได้มวลเชื้อต่อปริมาตร = 5 mg . เม็ด x 15 เม็ด = 75 mg/ 100 ml

∴ Fecal coliform = $\frac{3.4 \times 10^3 \text{ CFU}/\cancel{100 \text{ ml}}}{75 \text{ mg}/\cancel{100 \text{ ml}}}$ = 45.33 CFU /mg

ดังนั้นปริมาณ Fecal coliform(CFU/m^2) = 45.33 CFU / 680 mm^2

= 0.067 CFU/mm^2= 6.67 x 10^4CFU/m^2

3. Coliphage = 6 PFU/100 ml

∴จะได้มวลเชื้อต่อปริมาตร = 5 mg . เม็ด x 15 เม็ด = 75 mg/ 100 ml

∴ Coliphage = $\frac{6 \text{ PFU}/\cancel{100 \text{ ml}}}{75 \text{ mg}/\cancel{100 \text{ ml}}}$ = 0.08 PFU /mg

ดังนั้นปริมาณ Coliphage (PFU/m^2) = 0.08 PFU / 680 mm^2

= 1.18 x 10^6 PFU/m^2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การคำนวณ biomass บนผิวหน้าเยื่อกรอง FMF + UF

FMF + UF (ระบบตัวกลางแขวนลอยร่วมกับเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น)

น้ำหนักก่อนอบ = 3.2465 กรัม (g) , น้ำหนักหลังอบ = 3.2478 กรัม (g)

ของแข็งบนผิวหน้าเยื่อกรอง = น้ำหนักหลังอบ – น้ำหนักก่อนอบ

$$= 3.2478 - 3.2465 \text{ g}$$

$$= 0.0013 \text{ g} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 1.3 \text{ mg}$$

พื้นที่ผิวของเมมเบรน $= 0.077 \text{ m}^2$

Biomass ที่เกิดขึ้นบนผิวหน้าของเยื่อกรอง $= \frac{1.3 \text{ mg}}{0.077 \text{ m}^2} = 16.88 \text{ mg/ m}^2$

หาปริมาณ Total coliform , Fecal coliform and coliphage บนผิวหน้าเยื่อกรอง

สูตร Total coliform $= \frac{\text{CFU / ml} \times 200 \text{ ml}}{0.077\text{m}^2}$

ปริมาณ Total coliform $= \frac{4.9 \times 10^3 \frac{\text{CFU}}{\cancel{\text{ml}}} \times 200 \cancel{\text{ml}}}{0.077\text{m}^2}$

$= 1.27 \times 10^7 \text{ CFU / m}^2$

สูตร Fecal coliform $= \frac{\text{CFU / ml} \times 200 \text{ ml}}{0.077 \text{ m}^2}$

ปริมาณ Fecal coliform $= \frac{2.8 \times 10^3 \frac{\text{CFU}}{\cancel{\text{ml}}} \times 200 \cancel{\text{ml}}}{0.077\text{m}^2}$

$= 7.27 \times 10^6 \text{ CFU / m}^2$

สูตร Coliphage $= \frac{\text{PFU / ml} \times 200 \text{ ml}}{0.077\text{m}^2}$

ปริมาณ Coliphage $= \frac{11 \frac{\text{PFU}}{\cancel{\text{ml}}} \times 200 \cancel{\text{ml}}}{0.077\text{m}^2}$

$= 2.9 \times 10^4 \text{ PFU/ m}^2$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การคำนวณ Biomass บนผิวหน้าเยื่อกรอง Ultrafiltration Membrane โดยตรง

น้ำหนักก่อนอบ = 3.01711 กรัม (g), น้ำหนักหลังอบ = 3.0197 กรัม (g)

ของแข็งบนผิวหน้าเยื่อกรอง = น้ำหนักหลังอบ - น้ำหนักก่อนอบ

$$= 3.0197 - 3.0171 \text{ g}$$

$$= 0.0026 \text{ g} \times \frac{1000 \text{ mg}}{\text{g}} = 2.6 \text{ mg}$$

พื้นที่ผิวของเมมเบรน $= 0.077 \text{ m}^2 = \frac{2.6 \text{ mg}}{0.077 \text{ m}^2} = 33.77 \text{ mg/m}^2$

หาปริมาณ Total coliform , Fecal coliform and coliphage บนผิวหน้าเยื่อกรอง

สูตร $\frac{\text{CFU / ml} \times 200 \text{ ml}}{0.077 \text{ m}^2}$ สำหรับ Total coliform and Fecal coliform

สูตร $\frac{\text{PFU / ml} \times 200 \text{ ml}}{0.077 \text{m}^2}$ สำหรับ Coliphage

แทนค่าต่างๆ ลงในสูตร ดังนี้

$$\text{Total coliform} = \frac{8.6 \times 10^3 \frac{\text{CFU}}{\text{ml}} \times 200 \text{ ml}}{0.077 \text{m}^2} = 2.2 \times 10^7 \text{ CFU/m}^2$$

$$\text{Fecal coliform} = \frac{9.4 \times 10^3 \frac{\text{CFU}}{\text{ml}} \times 200 \text{ ml}}{0.077 \text{m}^2} = 2.4 \times 10^7 \text{ CFU/m}^2$$

$$\text{Coliphage} = \frac{15 \frac{\text{PFU}}{\text{ml}} \times 200 \text{ ml}}{0.077 \text{m}^2} = 3.9 \times 10^4 \text{ PFU/ m}^2$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นางสาวชลันดา เสมสายัณห์
เกิดวันที่	3 สิงหาคม 2530
สถานที่เกิด	อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยมหิดล
ตำแหน่งปัจจุบัน	ครูระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลาย
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	โรงเรียนธรรมมิสลาม ท่าอิฐ
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	โครงการศึกษาความเหมาะสมของการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดกลับมาใช้ประโยชน์ของกรุงเทพมหานคร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์