การจัดการเทคโนโลยีฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาล

Management of Titanium Dioxide Thin Films Technology for Wastewater Treatment System of Hospital

ญาณิศา ตันติปาลกุล [1]

1 บทนำ

ปัจจุบันไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ถูกนำมาใช้งานเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) ในขบวนการย่อยสลายด้วยแสง (photodegradation) ได้มีการนำไททาเนียมไดออกไซด์ไปใช้ในการบำบัดสารเคมีที่เป็นมลพิษในทางสิ่งแวดล้อมต่างๆ หลายชนิด โดยทั่วไปการนำไททาเนียมไดออกไซด์มาใช้ในกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสมี 2 ลักษณะ คือ ผงของแข็ง (solid powder) และแผ่นไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบบนตัวกลาง (substrate) ข้อเสียของการใช้ในรูปผงของแข็ง คือ เมื่อหลังสิ้นสุดปฏิกิริยาจะมีผงของไททาเนียมไดออกไซด์แขวนลอยอยู่ในน้ำทำให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มในการแยกผงไททาเนียมไดออกไซด์ออก ในขณะที่แบบแผ่นฟิล์มจะมีความสะดวกมากกว่าในการนำไปประยุกต์ใช้งาน เนื่องจากไททาเนียมไดออกไซด์ที่เป็นฟิล์มบางไม่จำเป็นต้องใส่สารเคมีเพิ่ม ไม่มีกากตะกอนที่ต้องกำจัดออกหลังสิ้นสุดปฏิกิริยาขบวนการโฟโตคะตะไลซิสโดยไททาเนียม ไดออกไซด์จะย่อยสลายสารอินทรีย์จนเป็นโมเลกุลเล็ก (CO_2, H_2O) ซึ่งจะไม่เหลือสารพิษตกค้างในน้ำ อีกทั้งไม่สิ้นเปลืองสารเคมี เนื่องจากฟิล์มไม่มีการสูญเสียเนื้อสารไททาเนียมไดออกไซด์ออกไปในขบวนการโฟโตคะตะไลซิส การศึกษาพบว่า อัตราการเร่งปฏิกิริยา (catalytic reactivity) ของไททาเนียมไดออกไซด์ขึ้นอยู่กับปริมาณพื้นที่ผิวที่เกิดปฏิกิริยาได้ ดังนั้น ขนาดอนุภาคของไททาเนียมไดออกไซด์จึงเป็นตัวแปรที่สำคัญ ด้วยเหตุนี้งานวิจัยในปัจจุบันจึงสนใจศึกษาวิธีการเตรียมและใช้งานตัวเร่งปฏิกิริยาไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีขนาดนาโน (nanoparticles) เพื่อให้ได้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นมากที่สุด

จากการศึกษายังพบอีกว่า กระบวนการโฟโตคะตะไลซิส (photocatalysis) เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถใช้ในการกำจัดปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำเสียโรงพยาบาลได้ โรงพยาบาลเป็นแหล่งรวมของเชื้อโรคจากผู้ป่วยที่มารับการรักษาพยาบาล น้ำเสียจากกิจกรรมต่างๆ ในโรงพยาบาล จึงมีการปนเปื้อนด้วยเชื้อโรคเหล่านี้ ดังนั้น หากระบบบำบัดน้ำเสีย มีประสิทธิภาพการบำบัดไม่ดี ก็จะมีโอกาสเกิดการแพร่กระจายของเชื้อโรคออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกโรงพยาบาล และจากการประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาล [1] พบว่า ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ร้อยละ 72.8 และมีประสิทธิภาพไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ร้อยละ 22.7

ปัญหาที่มักพบในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาล คือ ระบบบำบัดน้ำเสียเกิดกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วไม่มีคลอรีนอิสระตกค้าง หรือมีปริมาณต่ำกว่าค่าที่กำหนด (0.5-1.0 มก./ล.) [2] มีการไหลล้นของน้ำเสียออกจากระบบส่งผลกระทบอย่างรุนแรงต่อสภาพแวดล้อม

[1] สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

ในโรงพยาบาลและชุมชน [3] อีกทั้งยังมีโอกาสเกิดการแพร่กระจายของเชื้อโรคออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกโรงพยาบาล

ด้วยเหตุผลข้างต้น จึงเกิดแนวความคิดการวิจัยนำฟิล์มบางของวัสดุนาโนของไททาเนียมไดออกไซด์มาประยุกต์ใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาล เพื่อศึกษาการจัดการการวางระบบ รวมถึงประสิทธิภาพของระบบดังกล่าว และเพื่อเป็นความรู้พื้นฐานที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลต่อไป

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) [4]

ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide) เป็นสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ชนิดหนึ่งที่ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเหมาะสมในการประยุกต์ใช้เพื่อการบำบัดทางสิ่งแวดล้อม เนื่องจากไททาเนียมไดออกไซด์มีความคงตัวไม่เปลี่ยนรูปเมื่อเกิดปฏิกิริยา และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีรูปแบบของผลึกอยู่ 3 ชนิดได้แก่

2.1.1. รูไทล์ (Rutile) สามารถโน้มน้าวให้มีเสถียรภาพได้ที่อุณหภูมิสูงๆ ในอุตสาหกรรมจะใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ชนิดนี้เป็นส่วนใหญ่ เช่น โรงงานสี โรงงานเครื่องสำอาง โรงงานทำอาหารและบางครั้งพบในหินอัคนี

2.1.2. อนาเทส (Anatase) สามารถโน้มน้าวให้มีเสถียรภาพได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่ารูไทล์ ผลึกชนิดนี้นิยมใช้ในกระบวนการฉายแสงขั้นสูง

2.1.3. บรูไคต์ (Brookite) เป็นผลึกที่พบในแร่เท่านั้นและมีโครงสร้างเป็นแบบออร์โธรอมบิค (orthorhombic)

ทั้งรูไทล์และอนาเทส มีโครงสร้างเป็นแบบเตตระโกนอล (tetragonal) ผลึกทั้งสองแบบถือว่าเป็นโครงสร้างที่พบได้ทั่วไปเพราะสามารถเกิดขึ้นได้ง่ายและยังเป็นที่นิยมใช้ในด้านการบำบัดน้ำเสีย

2.2 การเตรียมฟิล์มบางนาโน [4]

ปัจจุบันนี้ความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว รวมถึงในด้านเทคโนโลยีการเคลือบผิวชิ้นงานหรือวัสดุ เพื่อใช้ในการพัฒนาคุณสมบัติให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน โดยการเคลือบฟิล์มบางเป็นกระบวนการที่ทำให้ธาตุหรือสารประกอบจากเป้าสารเคลือบ (Target) เคลือบบนผิววัสดุรองรับ (Substrate) จะเกิดชั้นของฟิล์มที่บางมาก จึงกล่าวได้ว่า ฟิล์มบาง (Thin film) หมายถึงชั้นของอะตอมหรือกลุ่มของอะตอมที่จับรวมตัวเป็นชั้นบางๆ โดยมีเทคนิคการขึ้นรูปฟิล์มบาง (Methods of Film Fabrication) ในหลายลักษณะทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเทคนิคและความต้องการในส่วนปริมาณและคุณภาพของฟิล์มบางที่เตรียม สำหรับเทคโนโลยีการขึ้นรูปฟิล์มบางนั้นแบ่งออกกว้างๆได้ 2 วิธี คือ

2.2.1. วิธีทางเคมี (Chemical Techniques) เป็นการเคลือบที่อาศัยการแตกตัวของสารเคมีในสภาพของก๊าซและเกิดปฏิกิริยาเคมีกลายเป็นสารใหม่ตกเคลือบบนวัสดุรองรับ ซึ่งรวมถึงการพ่นสเปรย์ไพโรไรซีส (Spray Pyrolysis) วิธี CVD (Chemical Vapor Deposition) และวิธีโซล-เจล (sol-gel)

2.2.2. วิธีทางกายภาพ (Physical Techniques) เป็นการเคลือบที่อาศัยการทำให้อะตอมของสารเคลือบหลุดออกจากผิวแล้วพุ่งกระจายหรือวิ่งเข้าไปจับและยึดติดกับผิวของวัสดุรองรับซึ่งรวมถึงการใช้ความร้อน (Thermal) และอิเล็กตรอนในการระเหยฟิล์มบาง (Electron Beam Evaporation) วิธีการสปัตเตอริง (Sputtering) ที่ใช้ความถี่แบบดีซี และ อาร์เอฟ (Radio Frequency) และไอออนบีมสปัตเตอริง (Ion Beam Sputtering) รวมถึงวิธีการใช้แสงเลเซอร์ในการขึ้นรูปฟิล์มบาง (Laser Ablation)

ประโยชน์ของการเคลือบผิวด้วยฟิล์มบางนั้นมีหลายอย่าง ตัวอย่างเช่น

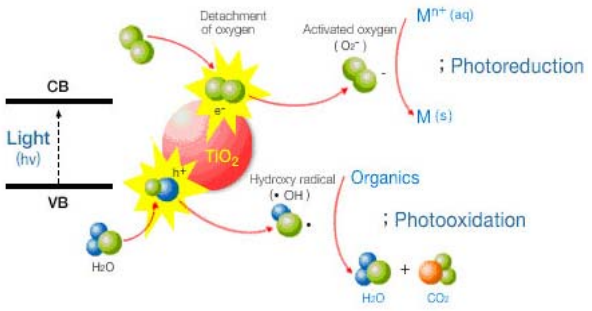
- การกันสนิมและการเพิ่มมูลค่า เช่น การชุบโครมนิเกิลเพื่อป้องกันการกัดกร่อนและชุบด้วยโครเมี่ยมอีกครั้ง เพื่อให้ผิววัสดุแวววาวสวยงาม
- อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น คอมพิวเตอร์ดิสก์ ซีดี
- เลนส์และอุปกรณ์ทางแสง เช่น แวนตาที่ต้องการกรองแสง
- เพิ่มความทนทาน เช่น ชุบผิววัสดุเพื่อเพิ่มความแข็งในเครื่องมือเจาะ ปลายดอกสว่าน
- การทำความสะอาดตัวเอง เช่นกระจกรถยนต์ กระจกอาคาร

- การนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส

2.3 กระบวนการโฟโตคะตะไลซิส [4, 5]

กระบวนการโฟโตคะตะไลซิส (photocatalysis) จัดว่าเป็นกระบวนการที่มีประโยชน์ในด้านการบำบัดทั้งน้ำและอากาศให้บริสุทธิ์ โดยแสงอาทิตย์จะไปทำให้โมเลกุลของสารอินทรีย์เล็กลง ในกระบวนการนี้เกิดโดยอาศัยสารที่ทำให้เกิดสภาพไว (sensitizer) ทางธรรมชาติหลายตัวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้ยังมีการศึกษา ทดลองยืนยันว่าสารประกอบกึ่งตัวนำ (semi-conductor, S.C.) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการได้ดี และผลการวิจัยส่วนมากยืนยันว่าไททาเนียมไดออกไซด์เป็นโฟโตคะตะลิสต์ที่มีประสิทธิภาพดี

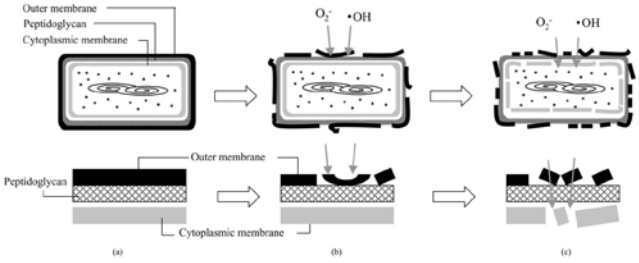
หลักการเบื้องต้นของกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส คือ จากการที่ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นสารกึ่งตัวนำ ดังนั้นเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงเหนือม่วงจะทำให้เกิดการปลดปล่อยคู่อิเล็กตรอนกับโฮล (h^+) อิเล็กตรอนที่เกิดจากการกระตุ้นของแสงจะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของก๊าซออกซิเจน (O_2) เกิดเป็นซูเปอร์ออกไซด์ (O_2^-) และโฮลที่เกิดจากการกระตุ้นด้วยแสงจะทำปฏิกิริยากับน้ำได้ไฮดรอกซิล (OH^-) ทั้งอิเล็กตรอนและโฮลค่อนข้างที่จะทำปฏิกิริยาได้ว่องไวและสามารถทำปฏิกิริยาได้พร้อมกัน เป็นผลให้ไปสลายส่วนประกอบของสิ่งปนเปื้อนที่เป็นสารอินทรีย์



ภาพที่ 1 แสดงกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสที่เกิดขึ้น เมื่อมีการฉายแสงลงบนอนุภาคคะตะลิสซ์ [6]

2.4 กลไกของคุณสมบัติ Anti-bacteria [7]

จากกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสทำให้เกิดซูเปอร์ออกไซด์และได้ไฮดรอกซิลขึ้น ซึ่งโมเลกุลทั้งสองนี้มีความสามารถในการทำปฏิกิริยาได้ว่องไว จะเข้าทำปฏิกิริยากับผนังเซลล์แบคทีเรีย เริ่มจากทำลายชั้น Outer membrane จากนั้นจะซึมผ่านส่วน Peptidoglycan และสุดท้ายจะทำลายชั้น Cytoplasmic membrane ที่ทำหน้าที่ห่อหุ้ม Cytoplasm เมื่อไม่มีสิ่งใดห่อหุ้ม Cytoplasm เซลล์ของแบคทีเรียจึงแตกเป็นผลให้เซลล์แบคทีเรียตาย และจากผลของการทำปฏิกิริยาจากการย่อย Outer membrane และ Cytoplasmic membrane ทำให้ได้น้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา



ภาพที่ 2 แสดงกลไกการย่อยสลายแบคทีเรียเมื่อทำการฉายแสง UV [7]
(a) ส่วนประกอบของเซลล์แบคทีเรีย
(b) การทำลาย Outer membrane
(c) การทำลาย Cytoplasmic membrane

2.5 โรงพยาบาลในประเทศไทย [8]

โรงพยาบาลแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ๆ คือ สังกัดของรัฐและเอกชน ซึ่งโรงพยาบาลของรัฐยังแบ่งเป็นโรงพยาบาลในสังกัดกระทรวงสาธารณสุข ซึ่งแยกประเภทด้วยขนาดของโรงพยาบาล ตั้งแต่โรงพยาบาลศูนย์ (500 – 600 เตียง) โรงพยาบาลทั่วไป (150 – 500 เตียง) โรงพยาบาลชุมชน (10 – 150 เตียง) นอกจากนี้ยังมีโรงพยาบาลของรัฐในสังกัดองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น รัฐวิสาหกิจ และกระทรวงอื่นๆ โดยจำนวนโรงพยาบาลในประเทศไทยตามรูปแบบการบริหารงานมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

จากสถิติจำนวนสถานพยาบาลที่มีเตียงผู้ป่วยไว้ค้างคืน ปี พ.ศ.2547 โดยสำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข (ตารางที่ 1.1) พบว่าประเทศไทยมีโรงพยาบาลจำนวน ทั้งสิ้น 1,278 แห่ง ส่วนใหญ่เป็นโรงพยาบาลของรัฐสังกัดกระทรวงสาธารณสุข ซึ่งมีจำนวน 875 แห่ง คิดเป็นร้อยละ 68.47 รองลงมาเป็นโรงพยาบาลเอกชน จำนวน 298 แห่ง คิดเป็นร้อยละ 23.31 ที่เหลืออีก 105 แห่ง (ร้อยละ 8.22) แบ่งเป็นโรงพยาบาลรัฐในสังกัดกระทรวงอื่น องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น และ

รัฐวิสาหกิจ โดยในจำนวนโรงพยาบาลในสังกัดกระทรวงสาธารณสุข ส่วนใหญ่เป็นโรงพยาบาลระดับชุมชน จำนวน 723 แห่ง (ร้อยละ 82.63) รองลงมาเป็นโรงพยาบาลทั่วไป จำนวน 70 แห่ง (ร้อยละ 8) และโรงพยาบาลศูนย์ขนาดใหญ่จำนวน 25 แห่ง (ร้อยละ 2.8)

ในด้านการกระจายตัวของโรงพยาบาลตามภูมิภาคต่างๆ พบว่า มีจำนวนใกล้เคียงกันในแต่และภาคของประเทศ โดยในภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือ มีสัดส่วนจำนวนโรงพยาบาลเมื่อเทียบกับทั่วประเทศเท่ากับร้อยละ 28.17 (360 แห่ง), 27.00 (354 แห่ง) และร้อยละ 20.27 (259 แห่ง) ตามลำดับ โดยในภาคใต้มีสัดส่วนจำนวนโรงพยาบาลน้อยที่สุด ร้อยละ 15.88 (203 แห่ง) ทั้งนี้ ในกรุงเทพมหานครมีโรงพยาบาลทั้งสิ้น 111 แห่ง คิดเป็นร้อยละ 8.69 ของจำนวนโรงพยาบาลทั่วประเทศ

ภาค และจังหวัด	รวม		กระทรวงสาธารณสุข										กระทรวงอื่น ๆ		รัฐวิสาหกิจ		เทศบาล		เอกชน	
			รวม		โรงพยาบาลศูนย์		โรงพยาบาลทั่วไป		โรงพยาบาลชุมชน		อื่น ๆ									
	แห่ง	ร้อยละ	แห่ง	ร้อยละ	แห่ง	ร้อยละ	แห่ง	ร้อยละ	แห่ง	ร้อยละ	แห่ง	ร้อยละ	แห่ง	ร้อยละ	แห่ง	ร้อยละ	แห่ง	ร้อยละ	แห่ง	ร้อยละ
กรุงเทพมหานคร	111	8.69	12	1.37	-	-	-	-	-	-	12	21.05	17	20.00	1	14.29	12	92.31	69	23.15
ภาคกลาง	360	28.17	224	25.60	9	36.00	27	38.57	172	23.79	16	28.07	23	27.06	5	71.43	-	0.00	108	36.24
ภาคเหนือ	259	20.27	191	21.83	5	20.00	15	21.43	162	22.41	9	15.79	17	20.00	-	0.00	1	7.69	50	16.78
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	345	27.00	290	33.14	6	24.00	14	20.00	259	35.82	11	19.30	15	17.65	-	0.00	-	0.00	40	13.42
ภาคใต้	203	15.88	158	18.06	5	20.00	14	20.00	130	17.98	9	15.79	13	15.29	1	14.29	-	0.00	31	10.40
ทั่วราชอาณาจักร	1,278	100.00	875	100.00	25	100.00	70	100.00	723	100.00	57	100.00	85	100.00	7	100.00	13	100.00	298	100.00

ที่มา : สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข กระทรวงสาธารณสุข

2.6 รูปแบบของระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลของกระทรวงสาธารณสุข [1]

โรงพยาบาลเป็นแหล่งรวมผู้ป่วย ด้วยโรคนานาชนิด จัดว่าเป็นแหล่งรวมของเชื้อโรค และอาจเกิดการแพร่พันธุ์ต่อไปได้ ถ้าขาดการสุขาภิบาลที่ดี ดังนั้น กระทรวงสาธารณสุขได้จัดให้มีระบบบำบัดน้ำเสียในโรงพยาบาลเป็นแห่งแรก ในปี พ.ศ.2516 โดยโรงพยาบาลของรัฐในสังกัดกระทรวงสาธารณสุข ได้มีการพัฒนารูปแบบการจัดสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย รวมทั้งควบคุมคุณภาพน้ำทิ้งให้ได้มาตรฐานกำหนด ซึ่งมีการดำเนินการพัฒนาระหว่างปี พ.ศ.2516-2539 และครบ 100 เปอร์เซนต์ ในปี พ.ศ.2541 การดำเนินการก่อสร้างได้มีการใช้ระบบ Turn Key โดยใช้ภาคเอกชนเป็นผู้ดำเนินการ และภาครัฐบาลเป็นผู้ควบคุมกำกับ หน่วยงานที่สำคัญในการดำเนินการให้มีระบบบำบัดน้ำเสียในโรงพยาบาล ของกระทรวงสาธารณสุข ได้แก่ กองอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย โดยดำเนินการแต่งตั้ง สำรวจ ออกแบบ ควบคุมการก่อสร้าง ดูแลประสิทธิภาพ รวมทั้งให้คำชี้แนะแก้ไขแก่โรงพยาบาล

โดยรูปแบบระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลของกระทรวงสาธารณสุข ที่ดำเนินการ มี 3 รูปแบบ คือ ระบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch), ระบบบ่อผึ่งน้ำ (Stabilization Pond) และ ระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) นอกจากนี้ ได้มีการนำระบบรูปแบบอื่นๆ มาใช้อีก เช่น ระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) และระบบบ่อเติมอากาศ (Anerated Lagoon) ซึ่งเริ่มนำมาใช้กับโรงพยาบาลของรัฐในช่วงปี 2538 เป็นต้นมา

1. ระบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch) เป็นระบบที่ใช้กับโรงพยาบาลที่มีน้ำเสียมาก หรือโรงพยาบาลที่มีพื้นที่จำกัด

หลักการของระบบน้ำเสียแบบคลองวนเวียน เมื่อน้ำเสียไหลจากบ่อสูบ เข้าสู่คลองวนเวียนนั้น จะมีจุลินทรีย์ปะปนมาด้วย น้ำเสียจะไหลวนเวียน ตามคลองวนเวียน จนกว่าจะถึงทางน้ำออก มีการเติมอากาศโดยใช้ ใบพัดเติมอากาศช่วย ในการปั่นทวนน้ำเสีย เพื่อเพิ่มให้อากาศแทรกอยู่ในน้ำ ให้มีปริมาณเพียงพอ ในการที่จุลินทรีย์จะใช้เพื่อการเจริญเติบโตต่อไป เมื่ออาหาร หรือของเสีย อากาศ และสภาพแวดล้อมในคลองวนเวียนที่เหมาะสม จุลินทรีย์จะเติบโตและขยายจำนวนเพิ่มมากขึ้น จนเห็นเป็นตะกอนสีน้ำตาลแดง ได้ด้วยตาเปล่า น้ำปนตะกอนนี้จะไหลออกจากคลองวนเวียนเข้าสู่ถังตะกอน เพื่อแยกตะกอนและน้ำออกจากกัน น้ำใสจะไหลล้นฝายน้ำล้นจากถังตกตะกอน เข้าสู่ถังเติมคลอรีน เพื่อฆ่าเชื้อโรคในน้ำทิ้งก่อนระบายออกสู่ภายนอกต่อไป ส่วนตะกอนจะแยกตัวจากน้ำ

แล้วเกาะรวมกัน จนมีขนาดใหญ่ขึ้น มีน้ำหนักมากขึ้น และตกลงสู่ก้นถังตกตะกอน เครื่องสูบจะสูบตะกอนบางส่วน กลับคลองวนเวียน ส่วนตะกอนจุลินทรีย์มีมากเกินความต้องการใช้ในคลองวนเวียนจะถูกสูบขึ้นไปตากไว้ให้แห้ง บนลานตากตะกอนประมาณ 5-7 วัน แล้วจึงคลาดตะกอนแห้งออกทิ้ง หรือนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆ

2. ระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา แบบไร้อากาศชนิดหนึ่ง มีหลักการทำงานแบ่งตามปฏิกิริยาเคมี ดังนี้

หลักการในขั้นแรก สารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำเสีย เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรท ซึ่งเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ จะถูกแบคทีเรียประเภทที่ดำรงชีพอยู่ได้ ทั้งในสภาพที่มีหรือไม่มีอากาศ (Facultative Bacteria) และแบคทีเรียประเภทที่ดำรงชีวิตอยู่ได้ ในสภาพที่ไม่มีอากาศ (Anaerobic Bacteria) กลุ่มหนึ่งที่เรียกว่า แอซิดฟอร์เมอร์ (Acid Formers) แยกสลายเป็นกรดอินทรีย์ขนาดโมเลกุลเล็กๆ หลายชนิดที่สำคัญ ได้แก่ กรดอะซีติค และกรดโพรพิออนิก ในขั้นตอนนี้สารอินทรีย์ส่วนน้อยเท่านั้นที่ถูกนำไปใช้ในการสร้างเซลใหม่ ในขั้นตอนที่สอง กรดอินทรีย์ต่างๆ จะถูกย่อยสลาย โดยแบคทีเรียอีกกลุ่มที่ดำรงชีพไม่ได้ ในสภาวะที่มีอากาศอยู่ (Obligate Anaerobic Bacteria) เรียกว่า มีเทนฟอร์เมอร์ (Methane Formers) ทำลายกรดอินทรีย์ให้กลายเป็นก๊าซต่างๆ ที่สำคัญ ได้แก่ ก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ จึงทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ลดลง (BOD ลดลง) และปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น จะแสดงถึงประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย

สำหรับระบบถังกรองไร้อากาศนี้ เพิ่งพัฒนาขึ้นมาเมื่อประมาณ 20 ปีที่ผ่านมา ส่วนประกอบที่สำคัญ คือ ถังที่มีลักษณะคล้ายถังกรอง แต่ภายในบรรจุด้วยหิน หรือถังพลาสติก (Plastic Media) แทนก็ได้ น้ำเสียจะไหลเข้าด้านล่างแล้วไหลขึ้นออกข้างบน (Upflow) ลักษณะเช่นนี้ จะทำให้น้ำท่วมถังสูงตลอดเวลา และทำให้แบคทีเรียส่วนใหญ่อยู่ภายในถังกรอง น้ำที่ไหลออกจึงใส มีปริมาณสารแขวนลอยน้อย โดยไม่ต้องมีถุงตกตะกอน ระบบถังกรองไร้อากาศเหมาะที่จะเป็นระบบบำบัดทางชีวะเบื้องต้น สำหรับน้ำเสียที่มีความสกปรก (BOD) สูง เช่น น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท

3. ระบบบ่อผึ่ง (Stabilization Pond) ระบบบำบัดน้ำเสียชนิดบ่อผึ่งน้ำ อาศัยธรรมชาติเป็นหลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย จึงมีข้อดีในแง่ที่ใช้พลังงานน้อยแต่ต้องการพื้นที่มาก และน้ำทิ้งผ่านระบบบำบัดน้ำเสียอาจมีคุณภาพแปรปรวนตามฤดูกาล ซึ่งระบบบ่อผึ่งประกอบด้วย

- บ่อสูบน้ำ และตะกร้าดักขยะ
- บ่อเขียว (Facultative Ponds)
- บ่อเขียวสมบูรณ์ (Aerobic Ponds)
- ถังฆ่าเชื้อโรค

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ญาณิศา ตันติปาลกุล [9] ได้ศึกษาวิธีการเตรียมฟิล์มบางของไททาเนียมไดออกไซด์เพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการย่อยสลายสารลดแรงตึงผิวด้วยแสง พบว่า ฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์บนแก้วมีความหนาสม่ำเสมอทั่วพื้นผิว มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 10-20 นาโนเมตร และเมื่อนำฟิล์มที่ได้ไปทดสอบคุณสมบัติการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยแสงโดยใช้สารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด คือ dodecylbenzenesulfonic acid sodium salt (DBS), hexadecylpyridinium chloride (CPC) และ Triton X-100 พบว่า อัตราเร็วในการย่อยสลายของสารทั้งสามชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน และเพิ่มขึ้น 1.6-1.8 เท่าเมื่อเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงในน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งจากการคำนวณพบว่า ฟิล์มบางที่เตรียมได้มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารลดแรงตึงผิวใกล้เคียงกับผงไททาเนียมนาโน Degussa P-25 เมื่อเทียบโดยมีปริมาณสารเท่ากัน

Gelover และคณะ [10] ได้ทำการศึกษาผลของการใช้ฟิล์มบางของไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ที่เป็นผลึกแบบ อนาเทส (anatase) ในกระบวนการย่อยสลายด้วยแสง (photocatalytic degradation) ของ 4 - คลอโรฟีนอล (4-chlorophenol) และคาร์บาร์ริว (carbaryl) ซึ่งเป็นสารพิษจากยาฆ่าแมลง (carbamic pesticide) โดยใช้เทคนิคโซล-เจล (sol-gel) เคลือบฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์บนชิ้นแก้วทรงกระบอกขนาดเล็ก ความหนาเฉลี่ย 600 นาโนเมตร และมีแบนแก๊ป (band gap) เท่ากับ 3.28 อิเล็กตรอนโวลต์ (eV) ผลที่ได้พบว่า ในปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยแสงที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไททาเนียมไดออกไซด์ในรูปของฟิล์มบางมีประสิทธิภาพเทียบ

เท่ากับไททาเนียมไดออกไซด์ที่เป็นผงของแข็ง Degussa P-25 ซึ่งเป็นสารมาตรฐาน

สุจิตรา นาวารัตน์ [11] ได้ศึกษาการกำจัดสปอร์ของแบคทีเรีย Bacillus subtilis และ Escherichia coli ในน้ำเสียโรงพยาบาลด้วยวิธีการเติมคลอรีน การใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตซี และการใช้ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลสิสที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า ความเข้มข้นคลอรีนหลงเหลือ 1 พีพีเอ็ม มีประสิทธิภาพการกำจัด E. coli ได้ 89.74% ในเวลา 30 นาที แต่ไม่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสปอร์ของ B. subtilis ขณะที่รังสีอัลตราไวโอเล็ตซีความเข้มแสง 2.1 ± 0.01 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร สามารถกำจัดสปอร์ของ B. subtilis ได้ 100% ในเวลา 120 นาที ส่วนปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลสิสพบว่าเมื่อเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 226 มิลลิโมลาร์ สามารถกำจัดสปอร์ของ B. subtilis ได้ 91% ในเวลาเพียง 30 นาทีเท่านั้น

K. Sunada และคณะ [12] ได้ศึกษากลไก Photokilling ของเซลล์ Escherichia coli บนแผ่นฟิล์มบางของไททาเนียมไดออกไซด์ โดยเปรียบเทียบความสามารถในการอยู่รอดของเซลล์ที่มีผนังเซลล์สมบูรณ์และเซลล์ที่ถูกลบผนังเซลล์ออกจนหมด (spheroplast) ภายใต้การฉายแสง พบว่า เซลล์ที่ถูกลบผนังเซลล์ออกจนหมดจะถูกทำลายเร็วกว่าแบคทีเรียที่มีผนังเซลล์สมบูรณ์ในระยะเวลาการฉายแสงที่เท่ากัน โดยแบคทีเรียที่ถูกลบผนังเซลล์ จะถูกทำลายเยื่อบุผิวชั้นนอกกับเยื่อบุผิวชั้นในซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญในการป้องกันการถูกทำลายได้เร็วกว่า กล่าวได้ว่า กลไก photokilling มีขั้นตอน 2 ขั้นตอน คือ เริ่มจากการสลาย outer membrane ซึ่งเป็นส่วนป้องกันการถูกทำลายของเซลล์ต้องใช้เวลาในการสลายนาน จากนั้นจึงเข้าสลาย cytoplasmic membrane และทำให้เซลล์ตายในที่สุด

A. Ibanez Jorge และคณะ [13] ได้ศึกษาการทำลายเชื้อแบคทีเรีย Enterobacter cloacae ร่วมกับแบคทีเรียชนิดแกรมลบตัวอื่น ได้แก่ E. coli และ Salmonella typhimurium ด้วยวิธีการย่อยสลายด้วยแสงของไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) โดยการฉายแสงยูวี-เอ ช่วงความเข้มแสง Photonflux ที่ 5.5 มิลลิวัตต์/ตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 40 นาที ลงไปในสารละลายเชื้อแบคทีเรีย พบว่า กระบวนการย่อยสลายด้วยแสงที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้นสามารถหยุดยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ โดยการออกซิเดชั่นผนังเซลล์แบคทีเรียส่งผลให้แบคทีเรียตาย ซึ่งกระบวนการย่อยสลายด้วยแสงของไทเทเนียมไดออกไซด์มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อถึงร้อยละ 99

สุรเดช ประดิษฐบาทุกา [14] ได้ศึกษาการจัดการระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลชุมชนขนาด 30-60 เตียง สังกัดกระทรวงสาธารณสุข ในเขตภาคกลางที่ตั้งอยู่ตามลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา ยกเว้นกรุงเทพมหานคร และสมุทรปราการ จำนวน 33 โรงพยาบาล พบว่า การบำบัดน้ำเสียมีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 24 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ปริมาณการเกิดน้ำเสียอยู่ที่ 40 ± 33 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ปริมาณน้ำเสียที่บำบัดได้เป็นร้อยละ 97 ของปริมาณน้ำเสียของโรงพยาบาลทั้งหมด ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งมีค่าเฉลี่ย 20.78 ± 14.72 มิลลิกรัมต่อลิตร ผู้บริหาร ผู้ดูแลควบคุม คนงาน และ ประชาชน มีค่าความพึงพอใจต่อผลการดำเนินงานบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาล เฉลี่ย 3.5, 3.7, 3.3 และ 3.6 คะแนน จากคะแนนเต็ม 5 ตามลำดับ และพบว่าวิธีการ (เทคนิคและการปฏิบัติ) และความพอเพียงของวัสดุอุปกรณ์มีความสัมพันธ์กับความพึงพอใจของคนทำงานประจำ ($p<0.005$) โดยมีค่า R2 = 0.797 ได้เสนอแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาการดำเนินงานระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลชุมชนโดยการจัดสัมมนาและนิเทศงาน ให้ความรู้และเทคนิควิธีปฏิบัติแก่ผู้ปฏิบัติงาน หาเงินรายได้เพิ่ม ใช้วัสดุอุปกรณ์ให้คุ้มค่าอย่างเหมาะสม และส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชนในการบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาล

3 กรอบแนวความคิดการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดแนวทางการศึกษาและแนวคิดต่างๆ เพื่อใช้กำหนดกรอบแนวคิดการวิจัย ดังนี้คือ

1 การศึกษาการเตรียมฟิล์มบางของวัสดุนาโนของไททาเนียมไดออกไซด์ ซึ่งประกอบด้วย

- ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มบางของวัสดุนาโนของไททาเนียมไดออกไซด์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาล ซึ่งได้จากการศึกษาเอกสารงานวิจัยและตำรา

- เตรียมฟิล์มบางของวัสดุนาโนของไททาเนียมไดออกไซด์

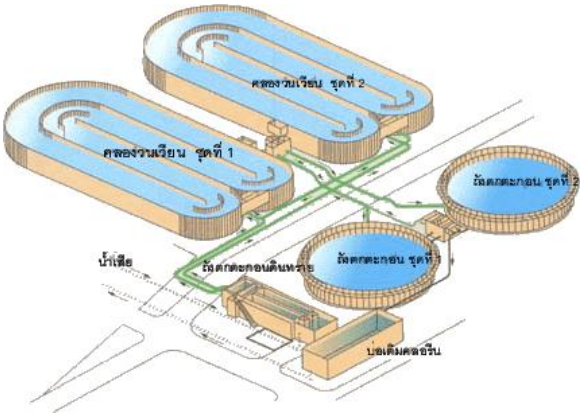
2 การศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในโรงพยาบาล ซึ่งได้จากการศึกษาเอกสารตำราและการศึกษาดูงานระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาล

3 ศึกษาการจัดการฟิล์มบางของวัสดุนาโนของไททาเนียมไดออกไซด์ในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาล ซึ่งประกอบด้วย

- การจัดวางฟิล์มบางของวัสดุนาโนของไททาเนียมไดออกไซด์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบคลองวนเวียน ดังภาพที่ 3

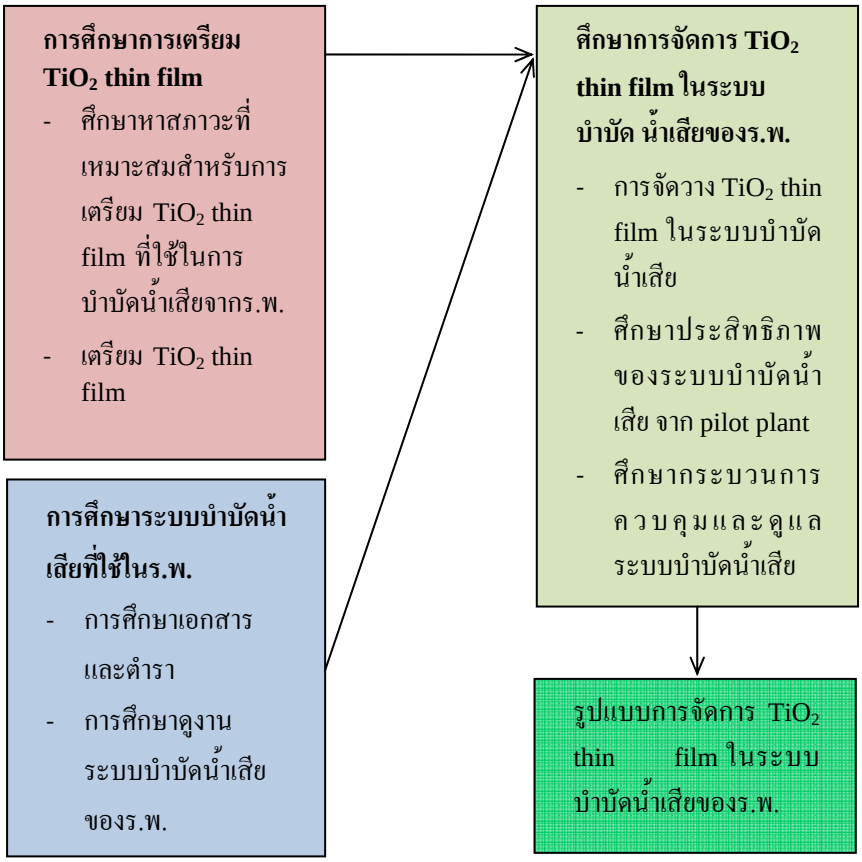
- ศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย จาก pilot plant โดยวัดจากคุณภาพน้ำก่อนและหลังการบำบัด

- ศึกษากระบวนการควบคุมและดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย



ภาพที่ 3 แนวคิดการจัดวางฟิล์มบางในระบบบำบัดน้ำเสียแบบคลองวนเวียนของโรงพยาบาล

จากแนวทางการศึกษาและแนวคิดต่างๆ สามารถวางกรอบแนวความคิดได้ตามภาพที่ 4



ภาพที่ 4 กรอบแนวความคิดการวิจัย

4 สรุป

การใช้เทคโนโลยีฟิล์มบางของวัสดุนาโนของไททาเนียมไดออกไซด์ในปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสกำลังเป็นที่สนใจในกลุ่มนักวิจัย และได้รับการยอมรับกันในระดับสากลว่ามีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ และเชื้อแบคทีเรียได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้ง ปัจจุบันโรงพยาบาลในประเทศไทยยังคงประสบปัญหาระบบบำบัดน้ำเสียไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอยู่เป็นจำนวนมาก ผู้วิจัยจึงเกิดแนวความคิดการวิจัยที่จะศึกษาการจัดการระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสที่มีฟิล์มบางของวัสดุนาโนของไททาเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาขึ้น เพื่อให้งานวิจัยสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการวางระบบบำบัดน้ำเสียแก้ปัญหาระบบบำบัด น้ำเสียที่ไม่ได้มาตรฐาน หรือเป็นแนวทางในการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ซึ่งจะเป็นการป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อโรคลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ และสร้างสภาพแวดล้อมที่ดีให้กับโรงพยาบาลนั้นๆ อีกด้วย

5. เอกสารอ้างอิง

[1] สมชาย สกุลอิสริยาภรณ์ (2540). “การพัฒนารูปแบบการจัดการน้ำเสีย ในโรงพยาบาลของกระทรวงสาธารณสุข”, วารสารการส่งเสริมสุขภาพ และอนามัยสิ่งแวดล้อม, ปีที่ 20, ฉบับที่ 3.

[2] อุไรวรรณ อินทร์ม่วง (2544). “การศึกษาคุณลักษณะของน้ำทิ้ง ก่อนและหลังการบำบัดด้วยระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาล ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน”, วารสารการส่งเสริมสุขภาพ และอนามัยสิ่งแวดล้อม, ปีที่ 24 ฉบับที่ 1.

[3] นิตยา จงรักษ์ (xxxx). ธรรมชาติบำบัด ขจัดมลพิษ ชีวิตปลอดภัย คืนน้ำใสให้ชุมชน โรงพยาบาลโนนคูณ อำเภอโนนคูณ จังหวัดศรีสะเกษ [Online], Available: phdb.moph.go.th/ewtadmin/ewt/hss.../h.../h_nonkhun.pdf [2010, August 28].

[4] ญาณิศา ตันติปาลกุล (2550). การเตรียมฟิล์มบางของวัสดุนาโนของไททาเนียมไดออกไซด์ เพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยแสงสำหรับสารลดแรงตึงผิวในน้ำ, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 4-17.

[5] Chen, Y., Wang K. and Lou L., (2004). “Photodegradation of Dye Pollutants on Silica Gel Supported TiO2 Particles Under Visible Light Irradiation”, Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, Vol. 163, pp. 281–287.

[6] What is photocatalysis? [Online], Available: http://www.davidonindustries.com/page.php/id/151 [2010, August 28].

[7] Kaishu Guan, 2003, Relationship between photocatalytic activity, hydrophilicity and self-cleaning effect of TiO2/SiO2 films, Surface & Coatings Technology, Vol.191, pp. 155-160.

[8] จำนวนโรงพยาบาลในประเทศไทย[Online], Available: www.kmitl.ac.th/ader/sec/hospital_ num.pdf [2010, August 28].

[9] Angkaew, S., Tantipalakul, Y. and Hanvajanawong, N., 2008, “TiO2 Thin Films for the Photodegradation Catalyst of Surfactants”, Pure and Applied Chemistry Conference (PACCON 2008), January 30 - February 1, Sofitel Centara Grand Bangkok, Thailand, pp.177.

[10] Gelover, S., Mondragón, P. and Jiménez, A., 2004, “Titanium Dioxide Sol–gel Deposited over Glass and Its Application as a Photocatalyst for Water Decontamination”, Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, Vol. 165, pp. 241–246.

[11] สุจิตรา นาวารัตน์ (2552). การกำจัดจุลินทรีย์ในน้ำเสียโรงพยาบาลด้วยปฏิกิริยาไทเทเนียมไดออกไซด์โฟโตคะตะไลสิส การใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตซี และการเติมคลอรีน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

[12] K. Sunada, T. Watanbe and K. Hashimoto. (2003). Studies on photokilling of bacteria on TiO2 thin film. Journal of Photochemistry and Photobiology. Vol. 156. Page. 227-233.

[13] A. Ibanez Jorge, I. Litter Marta, A. Pizarro Ramon (2003). Photocatalytic bactericidal effect of TiO2 on Enterobacter cloacae Comparative study with other Gram (-) bacteria. Photochemistry and Photobiology A: Chemistry. Volume 157. Page 81-85.

[14] S. Praditbatuka, 2004, The wastewater treatment plant management of community hospital, ministry of public health in central region, Thesis for the degree of master of science, Major in hospital administration, Faculty of graduate studies, Mahidol university.