



การประยุกต์ใช้น้ำอิเล็กโทรไลต์แบบกรดเพื่อฆ่าเชื้อโรค ในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำประปา

Application of Acidic Electrolyte Water for Disinfection In Water Supply Treatment

ศิริอูมา เจาะจิตต์^{1*} วาริท เจาะจิตต์¹ ปนัดดา พิบูลย์¹ ภาณุพงศ์ เลี่ยมสว่าง¹ และอรุณลักษณ์ กาญจนพิทักษ์¹

¹สำนักวิชาสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ตำบลไทยบุรี อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช 80161

*Corresponding Author, E-mail: jsirioma@gmail.com

Received: 5 July 2018 | Revised: 10 June 2019 | Accepted: 19 August 2019

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการประยุกต์ใช้น้ำอิเล็กโทรไลต์แบบกรดในฆ่าเชื้อโรคของกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำประปา เปรียบเทียบประสิทธิภาพกับการฆ่าเชื้อโรคของคลอรีนในรูปแบบของแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ และศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อโรคของน้ำอิเล็กโทรไลต์และแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ ได้แก่ ความเข้มข้นของสารฆ่าเชื้อ ระยะเวลาในการสัมผัส และค่า pH เพื่อหาความเหมาะสมในการฆ่าเชื้อด้วยน้ำอิเล็กโทรไลต์และคลอรีน เพื่อการประยุกต์ใช้สำหรับระบบการฆ่าเชื้อโรคในระบบการผลิตน้ำประปาของชุมชน ผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมของน้ำอิเล็กโทรไลต์แบบกรด ที่มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคได้ทั้งหมด 100% จะมีความเข้มข้นอยู่ที่ 2.5 ppm ที่ระยะเวลาการสัมผัส 10 นาที และมีค่า pH ที่เหมาะสมของการปรับปรุงคุณภาพน้ำอยู่ที่ 7 ในขณะที่สภาวะที่เหมาะสมของการใช้แคลเซียมไฮโปคลอไรท์ ที่มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคได้ทั้งหมด 100% จะมีความเข้มข้นอยู่ที่ 5 ppm มีระยะเวลาสัมผัส 30 นาที ที่ค่า pH ที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเท่ากับ 7 โดยพบว่าน้ำอิเล็กโทรไลต์หลังจากการฆ่าเชื้อโรค จะมีการสลายตัวของคลอรีนอิสระทั้งหมด จึงทำให้ไม่มีคลอรีนอิสระคงเหลือที่จะทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ในน้ำ เกิดเป็นสารไตรฮาโลมีเทนอีก แต่แคลเซียมไฮโปคลอไรท์ หลังจากทำปฏิกิริยาฆ่าเชื้อโรค จะยังคงมีคลอรีนอิสระคงเหลืออยู่ ซึ่งคลอรีนอิสระคงเหลือมีความจำเป็นต่อกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำประปาในขั้นตอนการจ่ายน้ำสู่ครัวเรือน เนื่องจากต้องใช้ในการฆ่าเชื้อโรคที่อาจปนเปื้อนในเส้นท่อน้ำระหว่างการจ่ายน้ำสู่ครัวเรือน แต่การใช้น้ำอิเล็กโทรไลต์แบบกรด เหมาะสำหรับการฆ่าเชื้อโรคในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำขนาดเล็ก หรือในการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดมากกว่าการฆ่าเชื้อโรคในน้ำประปา

ABSTRACT

The objectives of this study are to compare the disinfection efficiency of acidic electrolyte water and chlorine in form of calcium hypochlorite, and to determine optimal conditions including disinfectant concentration, contact time, and pH in water supply treatment process for community. The results indicated that, to achieve 100% of disinfection using acidic electrolyte water, the optimal concentration, contact time, and pH were 2.5 ppm, 10 minutes, and 7, respectively. In case of calcium hypochlorite, it was found that the optimal concentration, contact

time, and pH of calcium hypochlorite were 5 ppm, 30 minutes, and 7, respectively. After the disinfection process, it was found that there is no residual free chlorine left in the acidic electrolyzed water. Therefore, trihalomethane was not formed in this case. In contrast, the residual free chlorine was found when using calcium hypochlorite as disinfectant. The residual free chlorine is vital for water supply distribution system. Application of acidic electrolyte as disinfectant therefore is more suitable for bottled drinking water or small scale of water quality improvement unit rather than for water supply system.

คำสำคัญ: การฆ่าเชื้อโรค น้ำอิเล็กโทรไลต์ การปรับปรุงคุณภาพน้ำประปา

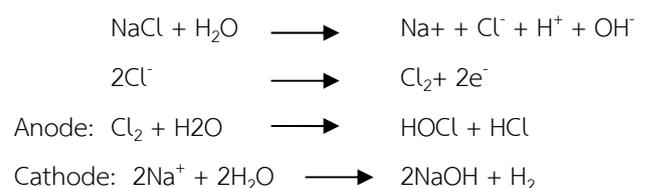
Keywords: Disinfection, Electrolyte Water, Water Supply Improvement

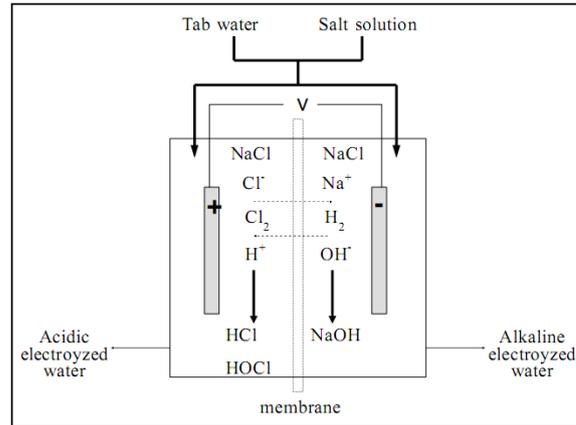
บทนำ

ในปัจจุบันการเติมคลอรีนเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในการฆ่าเชื้อโรคของการปรับปรุงคุณภาพน้ำในระบบประปา เพื่อให้ปราศจากเชื้อโรค เนื่องจากคลอรีนมีราคาถูก หาได้ง่าย แต่สิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นอย่างมากคือ สารประกอบคลอรีนสามารถก่อให้เกิดสารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรค (Disinfection by-products, DBPs) อันเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างสารอินทรีย์กับคลอรีนอิสระ ซึ่งจากการรายงานของสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมอเมริกา (US-Environmental Protection Agency –US-EPA) ในปี ค.ศ. 1999 พบว่าสารตกค้างเหล่านี้มีด้วยกันหลายกลุ่ม เช่น ไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes, THMs) ฮาโลอะซิติกแอซิด (Haloacetic acids, HAAs) ฮาโลอะซิโตไนไตรล์ (Haloacetonitriles, HANs) และอื่น ๆ แต่กลุ่มที่พบมากคือ สารในกลุ่ม THMs ซึ่งประกอบด้วยคลอโรฟอร์ม (Chloroform) โบรโมไดคลอโรมีเทน (Bromodichloromethane) โบรโมฟอร์ม (Bromoform) ซึ่งมีศักยภาพสามารถก่อมะเร็งได้ในมนุษย์ ระดับ B และไดโบรโมคลอโรมีเทน (Dibromochloromethane) มีศักยภาพอาจก่อมะเร็งได้ในมนุษย์ ระดับ C โดยสถาบันมะเร็งแห่งชาติประเทศสหรัฐอเมริกา (National Cancer Institute of the United States) รายงานว่า คลอโรฟอร์ม (สารในกลุ่มไตรฮาโลมีเทน) มีส่วนในการเพิ่มการเกิด มะเร็งที่ตับและไต กับสัตว์ในท้องทดลอง นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า การบริโภคน้ำที่มีการปนเปื้อนสาร THMs อาจเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งในกระเพาะปัสสาวะได้

นอกจากนี้จากการรายงานขององค์การอนามัยโลก ปี ค.ศ.2000 พบว่าสารตกค้างประเภท Halogenated organic by-products กลุ่มที่มีความเข้มข้นสูงสุดคือสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทน สอดคล้องกับข้อมูลรายงานของ US-EPA ปี ค.ศ.1999 ที่พบว่าสารตกค้างจากกระบวนการเติมคลอรีนบางชนิดเป็นสารก่อมะเร็ง (Carcinogen) สารตกค้างประเภท Halogenated organic by-products บางชนิดส่งผลกระทบต่อความสามารถในการสืบพันธุ์ การคลอด ระบบไหลเวียนโลหิต และอาจส่งผลกระทบต่ออวัยวะภายใน เช่น ตับ ไต เป็นต้น ตัวอย่างเช่น สารโบรโมไดคลอโรมีเทนมีผลต่อระบบสืบพันธุ์ สารไดโบรโมคลอโรมีเทนมีผลต่อระบบประสาท ตับ ไต และระบบสืบพันธุ์ สารไตรคลอโรอะซิติกแอซิด เป็นสารที่มีความอันตรายกับตัวมนุษย์และอาจทำให้เกิดโรคระบบประสาทและความผิดปกติในตัวอ่อนของหนู (Nicos and Scott, 2010)

ในปัจจุบันมีการผลิตน้ำอิเล็กโทรไลต์แบบกรด ซึ่งเป็นสารฆ่าเชื้อโรค ที่มีคุณสมบัติเป็นสารฆ่าเชื้อโรค ที่ไม่มีสารพิษ มีความเสถียร สามารถเก็บไว้ได้นาน ราคาไม่แพง และมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน (Yu-Ru, et al., 2006) อิเล็กโทรไลต์เกิดจากการแยกสลายสารด้วยขั้วไฟฟ้าบวกและลบ โดยเมื่อผ่านน้ำเกลือลงไป ทำให้เกิดปฏิกิริยาอิเล็กโทรไลซิส (electrolysis) ของสารละลายเกลือขึ้น เป็นสารประกอบที่มีไอออน คือ OH^- และ Cl^- ดังสมการ





รูปที่ 1 กระบวนการผลิตน้ำอิเล็กโทรไลต์ (ดัดแปลงจาก Kim et al. 2000)

ซึ่งจะมีการสูญเสียอิเล็กตรอนเพื่อให้มีอะตอมเป็นกลาง และเกิดเป็นก๊าซฮอจอกซิเจน hypochlorite ion hypochlorus, chlorine gas และ hydrochloric acid ซึ่งสาร hypochlorus ที่ได้นี้ เป็นสารที่ออกซิไดซ์ได้แรงกว่าสารประกอบคลอรีนที่อยู่ในรูปแคลเซียมไฮโปคลอไรต์ และโซเดียมไฮโปคลอไรต์ นอกจากนี้ปัจจัยของกรดไฮโปคลอไรต์ที่เป็นองค์ประกอบในน้ำอิเล็กโทรไลต์ชนิดกรดแล้ว ค่า ORP ที่สูงมากกว่า 1,100 mV. ยังเป็นปัจจัยที่สำคัญในการสนับสนุนให้ประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์ได้ดียิ่งขึ้น (Kim, et al., 2000) นอกจากนี้ การศึกษาของ Venkitanarayanan และคณะ (1999) ได้ศึกษาผลของน้ำอิเล็กโทรไลต์ต่อการยับยั้งเชื้อ *Escherichia coli* 0157:H7, *Salmonella enteritidis* และ *Listeria monocytogenes* พบว่าการให้น้ำอิเล็กโทรไลต์นาน 5 นาทีสามารถยับยั้งเชื้อโรคได้ 3 ชนิดและถ้าเพิ่มเวลาเป็น 10 นาทีจะสามารถยับยั้งได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำอิเล็กโทรไลต์มีศักยภาพในการฆ่าเชื้อโรคได้ และมีแนวโน้มการใช้งานหลากหลายในอุตสาหกรรมอาหาร (Maria, et al., 2015) ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการฆ่าเชื้อโรคทดแทนสารประกอบคลอรีนที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำดื่ม หรือน้ำประปาได้

ในการศึกษาครั้งนี้ จึงมีความสนใจเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำอิเล็กโทรไลต์แบบกรด และสารประกอบคลอรีนในรูปของแคลเซียมไฮโปคลอไรต์ ซึ่งเป็นสารที่นิยมใช้ในกระบวนการฆ่าเชื้อโรคในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมาใช้ฆ่าเชื้อแบคทีเรียที่อาจพบในน้ำได้ เพื่อเป็นทางเลือกในกระบวนการฆ่าเชื้อโรคในการปรับปรุงคุณภาพน้ำประปาหรือน้ำดื่มต่อไป

วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อโรคของน้ำอิเล็กโทรไลต์ชนิดกรดและคลอรีนในน้ำประปา มีการกำหนดวิธีและขั้นตอนดังนี้

1. เก็บตัวอย่างน้ำก่อนเข้ากระบวนการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนจากระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำประปาแห่งหนึ่ง โดยเก็บแบบจ้วง (Grab Sampling) ด้วย Aseptic Technique ปริมาณ 4 ลิตร ใส่ในขวดโหลแก้วและทำการ วิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนการทดลอง แสดงดังตารางที่ 1

2. ผลิตน้ำอิเล็กโทรไลต์ เพื่อใช้ในการทดลองด้วยเครื่องผลิตน้ำ DI และทำการศึกษาประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนและน้ำอิเล็กโทรไลต์ ตามขั้นตอนดังนี้

2.1 เติมน้ำตัวอย่างน้ำที่ต้องการศึกษาปริมาณ 250 ml ลงใน Beaker ขนาด 500 ml จำนวน 5 ใบ ปรับความเข้มข้นของสารละลายคลอรีน เท่ากับ 0 3 4 5 และ 6 ppm ตามลำดับ อีก 1 ชุดการทดลอง ปรับสัดส่วนความเข้มข้นของน้ำอิเล็กโทรไลต์เท่ากับ 0 0.5 1.0 1.5 2.0 และ 2.5 ppm. ตามลำดับ กวนสารละลายด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กนาน 10 นาที เติมนโซเดียมไทโอซัลเฟต (Sodium Thiosulfate) เพื่อหยุดปฏิกิริยาการฆ่าเชื้อโรคของคลอรีน หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ *Escherichia coli* และ Coliform Bacteria หลังทำการทดลองเพื่อหาปริมาณแบคทีเรียที่เหลือรอด และวิเคราะห์คลอรีนอิสระคงเหลือ

ตารางที่ 1 วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

รายการ	วิธีการวิเคราะห์
ความขุ่น (Turbidity)	Nephelometric Method
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	Electrometric Method
การนำไฟฟ้า	Electrical Conductivity Method
ORP	ORP Meter
Coliform bacteria	MPN
คลอรีนอิสระ	Iodometric Method

2.2 หาระยะเวลาการกวนที่เหมาะสม เติมน้ำตัวอย่าง ปริมาตร 250 ml ลงใน Beaker ขนาด 500 ml จำนวน 5 ใบ เติมปริมาณคลอรีนและสัดส่วนน้ำอเล็กโทรไลต์ที่ความเข้มข้นเหมาะสมจากข้อที่ 2.1) กวนสารละลายด้วยเครื่องกวนแม่เหล็ก ด้วยความเร็วระดับ 4 โดยใช้น้ำอเล็กโทรไลต์ใช้เวลา 2 4 6 8 และ 10 นาที ส่วนแคลเซียมไฮโปคลอไรต์ใช้เวลา 15 20 25 30 และ 35 นาที ตามลำดับ เติมนโซเดียมไทโอซัลเฟต (Sodium Thiosulfate) เพื่อหยุดปฏิกิริยาการฆ่าเชื้อโรคของคลอรีน หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ *Escherichia coli* และ Coliform Bacteria หลังทำการทดลอง เพื่อหาปริมาณแบคทีเรียที่เหลือและคลอรีนอิสระคงเหลือ

2.3. หา pH ที่เหมาะสม เติมน้ำตัวอย่าง ปริมาตร 250 ml ลงใน Beaker ขนาด 500 ml จำนวน 5 ใบ แล้วทำการปรับ pH ให้ได้ตามที่ต้องการ (อยู่ในช่วงค่า pH 3-11) จากนั้นเติม

ปริมาณคลอรีนที่ความเข้มข้นเหมาะสมจากข้อที่ 2.1 กวนสารละลายด้วยเครื่องกวนแม่เหล็ก ด้วยความเร็วระดับ 4 โดยใช้ระยะเวลาตามข้อ 2.2 เมื่อครบเวลาเติมนโซเดียมไทโอซัลเฟต (Sodium Thiosulfate) เพื่อหยุดปฏิกิริยาการฆ่าเชื้อโรคของคลอรีน หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ *Escherichia coli* และ Coliform Bacteria หลังทำการทดลอง เพื่อหาปริมาณแบคทีเรียที่เหลือรอด และวิเคราะห์คลอรีนอิสระคงเหลือ

3. วิเคราะห์ประสิทธิภาพของกระบวนการ ฆ่าเชื้อโรค

ผลการวิจัย

คุณภาพน้ำประปาเบื้องต้น

น้ำประปาที่นำมาวิเคราะห์เป็นน้ำประปาของโรงผลิตน้ำประปาแห่งหนึ่ง ซึ่งเป็นน้ำประปาที่ผ่านกระบวนการกรองแล้วแต่ยังไม่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อโรค ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำประปา จุดที่ผ่านกระบวนการกรอง (มาตรฐานน้ำประปาส่วนภูมิภาค, 2550)

การวิเคราะห์	ค่าเฉลี่ย	ค่ามาตรฐานน้ำประปา
pH	8.20	6.5-8.5
ความขุ่น (NTU)	0.157	5.0
ค่าการนำไฟฟ้า (mv/cm)	47.2	-
ORP (mv)	69	-
E.Coli	67	ต้องไม่พบ
Coliform Bacteria	21	ต้องไม่พบ

หมายเหตุ หน่วยของ *E. Coli* และ Coliform Bacteria (โคลิฟอร์มต่อ 100 cm³)

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติของน้ำอิเล็กโทรไลต์

พารามิเตอร์	วัน				
	1	2	3	4	5
pH	2.05	2.02	2.01	2.04	2.03
ORP (mv)	1128	1117	1110	1113	1104
คลอรีนอิสระ(ppm.)	143	101	81	69	53

จากตารางที่ 3 เป็นน้ำอิเล็กโทรไลต์แบบกรดที่ผลิตด้วยเครื่องผลิตน้ำอิเล็กโทรไลต์รุ่น Labo Sci (Hario Science Co. Ltd, Tokyo, Japan) โดยพบว่าน้ำอิเล็กโทรไลต์แบบกรดมีค่าความเสถียรของค่า pH ค่าการนำไฟฟ้าและค่า ORP โดยไม่มีการ

เปลี่ยนแปลงตามเวลามากนัก คือมีค่าเฉลี่ย 2.03 ± 0.01 และ 1114.4 ± 8.96 mV ส่วนปริมาณคลอรีนอิสระ มีแนวโน้มลดลงตามเวลา ค่าเฉลี่ย 89.4 ± 34.7 ppm

ตารางที่ 4 คุณสมบัติของคลอรีน

พารามิเตอร์	วัน				
	1	2	3	4	5
pH	10.17	10.11	10.23	10.18	10.09
ORP (mv)	426	423	418	422	415
คลอรีนอิสระ(ppm.)	485	483	482	484	481

จากตารางที่ 4 คุณสมบัติของสารละลายคลอรีน ซึ่งใช้แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ละลายน้ำในการทดสอบ พบว่ามีค่า pH เฉลี่ย 10.16 ± 0.05 ซึ่งค่า pH ที่มากกว่า 9 จะทำให้คลอรีนอิสระอยู่ในรูปของไฮโปคลอไรต์ทั้งหมด โดยไฮโปคลอไรต์จะมีความคงตัวกว่ากรดไฮโปคลอไรต์ จึงทำให้มีค่า pH คงที่ และมีคลอรีนอิสระคงที่ เนื่องจากไฮโปคลอไรต์ไม่เกิดการสลายตัว อีกทั้งค่าการนำไฟฟ้าและค่า ORP ก็ยังคงที่ด้วยเช่นกัน โดยมีค่าเฉลี่ย

420.8 ± 4.32 mV. ส่วนปริมาณคลอรีนอิสระ มีค่าค่อนข้างคงที่ตามเวลา โดยมีค่าเฉลี่ย 483 ± 1.58 ppm

จากการศึกษาประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อแบคทีเรียระหว่างน้ำอิเล็กโทรไลต์เปรียบเทียบกับแคลเซียมไฮโปคลอไรต์ในตัวอย่างน้ำประปา จากโรงผลิตน้ำประปาแห่งหนึ่ง ก่อนเข้ากระบวนการฆ่าเชื้อโรคด้วยก๊าซคลอรีน โดยนำน้ำอิเล็กโทรไลต์แบบกรด และแคลเซียมไฮโปคลอไรต์ มาทดสอบฤทธิ์การฆ่าเชื้อแบคทีเรีย ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 5 และ 6

ตารางที่ 5 แสดงผลการศึกษาของการฆ่าเชื้อโรคด้วยน้ำอิเล็กโทรไลต์

พารามิเตอร์	ความเข้มข้น (ppm)					ระยะเวลาที่เหมาะสม (นาที)					ค่าพีเอช				
	0.5	1	1.5	2	2.5	2	4	6	8	10	3	5	7	9	11
pH	7.52	7.77	7.32	7.2	<u>7.46</u>	8.15	8.2	7.68	7.32	<u>7.38</u>	3.06	4.22	<u>6.11</u>	7.82	10.7
ความขุ่น	0.19	0.19	0.19	0.19	<u>0.19</u>	0.20	0.19	0.19	0.19	<u>0.19</u>	0.17	0.16	<u>0.15</u>	0.16	0.18
ค่าการนำไฟฟ้า	67	75	82	58	<u>109.8</u>	146.5	164.3	171.8	179.5	<u>183.4</u>	746	273.9	<u>181.2</u>	176.3	426
ORP	167	170	172	167	<u>174</u>	118	136	155	143	<u>165</u>	220	171	<u>100</u>	62	-26
<i>E. Coli</i>	21	9	3	4	<u>0</u>	8	11	4	4	<u>0</u>	5	7	<u>0</u>	1	0
Coliform Bacteria	4	13	13	9	<u>0</u>	5	6	4	9	<u>0</u>	9	14	<u>0</u>	4	3

ตารางที่ 6 แสดงผลการศึกษาของการฆ่าเชื้อโรคด้วยแคลเซียมไฮโปคลอไรท์

พารามิเตอร์	ความเข้มข้น (ppm)					ระยะเวลาที่เหมาะสม (นาที)					ค่าพีเอช				
	0	3	4	5	6	15	20	25	30	35	3	5	7	9	11
pH	7.82	7.6	7.5	<u>7.52</u>	7.33	7.45	7.21	7.38	<u>7.57</u>	7.38	3.09	6.13	7.12	8.02	10.9
ความขุ่น	0.11	0.03	0.1	<u>0.13</u>	0.14	0.21	0.14	0.16	<u>0.14</u>	0.13	0.17	0.15	0.14	0.14	0.17
ค่าการนำไฟฟ้า	120	129	122	<u>135</u>	14	13	13	13	<u>12</u>	125	483	130	206	139	536
ORP	143	159	141	<u>165</u>	207	138	142	135	<u>135</u>	140	204	69	63	63	-22
<i>E. Coli</i>	485	11	8	<u>0</u>	0	10	6	3	<u>0</u>	0	3	6	0	3	3
Coliform Bacteria	63	10	7	<u>0</u>	0	4	1	3	<u>0</u>	0	1	2	0	4	3

หมายเหตุ หน่วยของ ความขุ่น (NTU), ค่าการนำไฟฟ้า (mV/cm), ORP (mv.) *E. Coli* และ Coliform Bacteria (โคลิฟอร์มต่อ 100 cm³)

จากตารางที่ 5 และ 6 พบว่าน้ำอิเล็กโทรไลต์แบบกรดที่มีความเข้มข้น 2.5 ppm และแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ที่มีความเข้มข้น 5 ppm สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้หมดทั้ง 3 ชนิด (ประสิทธิภาพ 100%) เนื่องจากน้ำอิเล็กโทรไลต์มีค่า ORP (oxidation-reduction potential) ที่สูงกว่าแคลเซียมไฮโปคลอไรด์ จึงสามารถใช้ความเข้มข้นที่ต่ำกว่าได้ และน้ำอิเล็กโทรไลต์จะมีกรดไฮโปคลอรัสในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย ในขณะที่แคลเซียมไฮโปคลอไรด์จะให้ไฮโปคลอไรท์ซึ่งมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อต่ำกว่ากรดไฮโปคลอรัส จึงทำให้ประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อของน้ำอิเล็กโทรไลต์ดีกว่าแคลเซียมไฮโปคลอไรด์

ระยะเวลาในการสัมผัสของสารทั้ง 2 ชนิด พบว่า น้ำอิเล็กโทรไลต์ใช้เวลา 10 นาที ในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียทั้ง 3

ชนิด แต่แคลเซียมไฮโปคลอไรด์ต้องใช้เวลา 30 นาที ถึงจะกำจัดเชื้อแบคทีเรียได้ทั้งหมดเนื่องจากไฮโปคลอไรด์สามารถออกซิไดซ์ได้ดีแต่ฆ่าเชื้อโรคได้น้อย (จิราวรรณ, 2553) จึงต้องใช้ระยะเวลาที่นานขึ้นเพื่อให้กำจัดเชื้อแบคทีเรียได้ทั้งหมด ทำให้น้ำอิเล็กโทรไลต์ประหยัดในเรื่องการลงทุนก่อสร้างหน่วยบำบัดได้มากกว่า เนื่องจากระยะเวลาในการสัมผัสน้อยกว่าคลอรีนที่ค่า pH เท่ากับ 7 สารทั้งสองชนิดสามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรียได้ดีที่สุดเช่นกัน เนื่องจากที่ pH 7 จะทำให้สารทั้ง 2 ชนิด ให้คลอรีนในรูปของกรดไฮโปคลอรัสและไฮโปคลอไรท์ จึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียของสารทั้ง 2 ชนิดเท่ากัน ซึ่งการประมาณค่าใช้จ่ายของน้ำอิเล็กโทรไลต์และคลอรีน ในรูปแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ แสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย

รายการ	น้ำอิเล็กโทรไลซ์	คลอรีน
ค่าใช้จ่ายต่อน้ำดิบ 1 ลบ.ม. (บาท)	4.89	3.90
ค่าใช้จ่ายของสารที่ใช้ต่อเดือน (บาท)	293,400	233,520

หมายเหตุ : ในการประมาณค่าใช้จ่ายพิจารณาจาก

- 1) โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ใช้ผลิตน้ำอิเล็กโทรไลซ์ 450 กรัม ราคา 55 บาท
- 2) แคลเซียมไฮโปคลอไรด์ (CaOCl₂) ที่ใช้ผลิตคลอรีน 100 กรัม ราคา 70 บาท

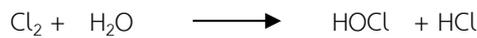
จากการคำนวณค่าใช้จ่ายโดยราคาต้นทุนสารเคมีในการผลิตน้ำอิเล็กโทรไลต์จะอยู่ที่ 55 บาทต่อ 450 กรัม ซึ่งสามารถผลิตน้ำอิเล็กโทรไลต์ได้ประมาณ 224 ลิตร และแคลเซียมไฮโปคลอไรด์ 100 กรัม จะมีราคาอยู่ที่ 70 บาท ซึ่งเมื่อคำนวณค่าใช้จ่ายต่อน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร พบว่าน้ำอิเล็กโทรไลต์จะมีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าแคลเซียมไฮโปคลอไรด์ ประมาณ 0.99 บาท/ลบ.ม แคลเซียมไฮโปคลอไรด์ จึงประหยัดกว่าน้ำอิเล็กโทร-

ไลต์แบบกรดประมาณร้อยละ 20 ดังนั้นแคลเซียมไฮโปคลอไรด์จึงเหมาะต่อการฆ่าเชื้อโรคในระบบการประปาคุณภาพน้ำขนาดใหญ่ มากกว่าน้ำอิเล็กโทรไลต์แบบกรด อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้ ใช้ NaCl ในเกรดคุณภาพระดับห้องปฏิบัติการ หากใช้ NaCl ตามท้องตลาดทั่วไป ราคาจะถูกลงอีกมาก โดยมีค่าใช้จ่ายประมาณ 0.4 บาท/ลบ.ม. (คิดราคาเฉลี่ยทั่วไป 1 กิโลกรัม 10 บาท)

วิจารณ์ผลการวิจัย

ปริมาณน้ำอเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสม

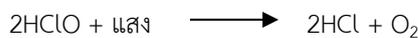
จากตารางที่ 3 พบว่าน้ำอเล็กโทรไลต์มีค่า pH เท่ากับ 2.05 ซึ่งตามทฤษฎีที่ค่า pH 1 – 3.5 คลอรีนอิสระจะอยู่ในรูปของก๊าซคลอรีน (Cl_2) และกรดไฮโปคลอรัส ($HOCl$) ดังสมการ



กรด $HOCl$ แตกตัวในน้ำจะให้ hypochlorite ion และ hypochlorite ion ดังสมการ



ซึ่งกรดไฮโปคลอรัสมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคสูง แต่สามารถเกิดการสลายตัวเมื่อถูกแสงแดดทำให้กลายเป็นกรดไฮโดรคลอริก (HCl) และออกซิเจน (O_2) ดังสมการ



เป็นผลให้ทำให้ pH มีค่าคงที่ และด้วยคุณสมบัติของน้ำอเล็กโทรไลต์ที่มีค่า ORP ที่สูง แสดงถึงความสามารถในการออกซิไดซ์สูง เนื่องจากมีโปรตอนของไฮโดรเจนสูง ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่าเมื่อเติมน้ำอเล็กโทรไลต์ลงในตัวอย่างน้ำประปาเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่า pH ของน้ำตัวอย่างมีค่าลดลงเรื่อยๆ ซึ่งเป็นผลมาจากไฮโดรเนียมไอออนที่เกิดจากปฏิกิริยามากขึ้น ดังสมการ



ซึ่งค่า ORP ที่สูงจะทำให้เกิดการดึงอิเล็กตรอนจากแบคทีเรียหรือไวรัส ที่มีไขมันได้สัมผัส ทำให้เชื้อโรคตาย ซึ่งที่น้ำอเล็กโทรไลต์ที่มีความเข้มข้น 2.5 ppm สามารถที่จะกำจัดแบคทีเรียทั้งหมดได้ ซึ่งตรงตามมาตรฐานน้ำประปา การประปานครหลวง และมาตรฐานน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ซึ่งกำหนดให้ค่า pH = 6.5 – 8.5 และต้องไม่พบ เชื้อ *E. Coli* และเชื้อกลุ่ม Coliform Bacteria ผลการทดลองครั้งนี้พบว่าค่าความเข้มข้นของน้ำอเล็กโทรไลต์ที่ใช้ในการฆ่าเชื้อโรคที่ความเข้มข้นเพียง 2.5 ppm สามารถฆ่าเชื้อโรคได้ทั้งหมด ซึ่งต่างจากผลการศึกษาของ Guentzel JL และคณะ (2017) ที่มีการทดลองใช้น้ำ อเล็กโทรไลต์เพื่อฆ่าเชื้อโรคหลายชนิด เช่น *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Staphylococcus aureus* พบว่าที่ระดับความเข้มข้นที่สูงกว่าคืออยู่ในช่วง 20-120 ppm แต่มีระยะเวลาสัมผัส 10 นาทีเท่านั้นที่ทำให้เชื้อโรคทุกชนิดได้หมด

ระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมของการใช้น้ำอเล็กโทรไลต์

จากการทดลองหาระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมพบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียจะเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากทำให้เชื้อแบคทีเรียมีโอกาสสัมผัสกับน้ำอเล็กโทรไลต์ได้เพิ่มมากยิ่งขึ้น จึงทำให้สามารถกำจัดแบคทีเรียได้เพิ่มขึ้นตามไปด้วย (Bonde, M. R. และคณะ, 1999) ซึ่งจากผลการทดลองที่ระยะเวลา 10 นาที สามารถที่จะกำจัดแบคทีเรียได้หมดตามมาตรฐานน้ำประปา การประปานครหลวงและมาตรฐานน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Venkitanarayanan และคณะ (1999) พบว่าสปอร์ของ *E. coli* ถูกยับยั้งการเจริญเติบโตเมื่อน้ำอเล็กโทรไลต์นาน 10 นาที

ค่า pH ที่เหมาะสมของการใช้น้ำอเล็กโทรไลต์

จากการทดสอบหาค่า pH ที่เหมาะสมของน้ำ อเล็กโทรไลต์ พบว่าที่ pH เป็นกลาง (pH = 7) จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียได้ดีที่สุด ซึ่งตรงข้ามกับทฤษฎีและงานวิจัยที่ว่ายิ่งค่า pH ต่ำลง จะทำให้น้ำอเล็กโทรไลต์มีประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียเพิ่มขึ้น เช่น งานวิจัยของ นฤมล และคณะ (2549) พบว่าที่ pH เท่ากับ 2 สามารถกำจัดเชื้อ *S. aureus*, *E. coli* และ *C. albicans* ได้ทั้งหมด เมื่อสัมผัสกับตัวอย่างน้ำ อเล็กโทรไลต์ นานเป็นเวลา 10 นาที, 1 นาที, และ 10 นาที ตามลำดับ ซึ่งน้ำอเล็กโทรไลต์ที่ใช้ทดสอบและจากงานวิจัยมีความเข้มข้นที่แตกต่างกัน จึงทำให้ผลที่ได้แตกต่างกัน

ความเข้มข้นสารละลายแคลเซียมไฮโปคลอไรต์ที่เหมาะสม

คลอรีนที่ใช้ในการทดลองนี้ ใช้แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ในการทดสอบ เนื่องจากมีราคาถูกและหาง่ายทั่วไปตามท้องตลาด ซึ่งสารละลายคลอรีนที่ได้ มีค่า pH อยู่ที่ 10.17 ซึ่งมีค่า pH ที่มากกว่า 9 จึงทำให้คลอรีนอยู่ในรูปของไฮโปคลอไรต์ไอออนทั้งหมด ซึ่งมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคต่ำ จากผลการศึกษาและการใช้งานจริงของเจ้าหน้าที่โรงผลิตน้ำประปาพบว่า ความเข้มข้นของคลอรีนที่ใช้ในกระบวนการฆ่าเชื้อโรคมีค่าที่เท่ากัน คือ 5.0 ppm แต่ทางโรงผลิตน้ำประปาจะใช้คลอรีนในรูปของแก๊สในการฆ่าเชื้อโรค

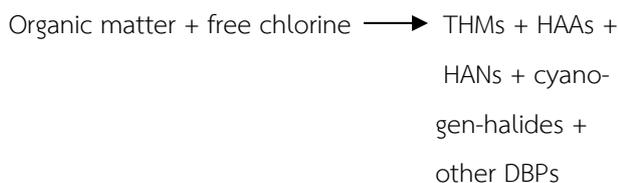
ระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมของการใช้แคลเซียมไฮโปคลอไรต์

จากการทดลองหาระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมพบว่า ที่ระยะเวลาตั้งแต่ 30 นาทีเป็นต้นไป สามารถกำจัดแบคทีเรียได้ทั้งหมด เนื่องจากเวลาที่สัมผัสน้ำ (Contact time) นานขึ้นจะทำ

ให้ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคของคลอรีนสูงขึ้น ในทางกลับกันถ้าเวลาสัมผัสน้ำน้อยลงประสิทธิภาพจะต่ำลง ซึ่งระยะเวลาในการฆ่าเชื้อโรคเริ่มตั้งแต่เวลาที่เติมสารละลายผงปูนคลอรีนลงในน้ำจนถึงเวลาที่ผู้ใช้เริ่มใช้น้ำเป็นรายแรกไม่ควรน้อยกว่า 30 นาที หรือถ้านานกว่านั้นการฆ่าเชื้อโรคของสารละลายผงปูนคลอรีนก็จะมีมากขึ้นด้วย และทำให้กลิ่นลดลง (พิเชษฐ, 2549)

ค่า pH ที่เหมาะสมของการใช้คลอรีนไฮโปคลอไรท์

จากผลการทดลองพบว่าที่ pH 3 และ pH 5 จะทำให้คลอรีนเปลี่ยนมาอยู่ในรูปของคลอรีนก๊าซและ HOCl ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียสูงแต่ผลการทดลองพบว่ายังมีเชื้อแบคทีเรียหลงเหลืออยู่ เนื่องจากการทำปฏิกิริยากับแสงทำให้ HOCl เปลี่ยนรูปไปเป็น HCl และออกซิเจน ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียลดลง และที่ pH 9 และ pH 11 ทำให้คลอรีนอิสระอยู่ในรูปของ OCl⁻ เป็นส่วนใหญ่ จึงทำให้มีประสิทธิภาพที่ลดลงเช่นกัน ดังนั้นที่ pH 7 จึงสามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรียได้ดีที่สุด เนื่องจากมีคลอรีนอิสระอยู่ทั้งในรูปของ HOCl และ OCl⁻ จึงทำให้มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อได้ดีที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของพิเชษฐ (2549) ว่าโดยทั่วไปแล้วคลอรีนจะออกฤทธิ์ได้ดีในช่วง pH 6-7 แต่งานวิจัยของ จีราวรรณ (2553) รายงานว่าการเพิ่มขึ้นของ pH ทำให้คลอรีนสามารถออกซิไดซ์สารอินทรีย์ได้มากขึ้นและเกิดการเติมฮาโลเจน (Halogenatio) ได้ดีทำให้เกิดสารไตรฮาโลมีเทนเพิ่มขึ้น ดังสมการ



สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อแบคทีเรียระหว่างน้ำอเล็กโทรไลต์เปรียบเทียบกับคลอรีนไฮโปคลอไรท์ในตัวอย่างน้ำประปา ก่อนเข้ากระบวนการฆ่าเชื้อโรคด้วยก๊าซคลอรีน พบว่า น้ำอเล็กโทรไลต์แบบกรด ที่มีความเข้มข้น 2.5 ppm และคลอรีนไฮโปคลอไรท์ ที่มีความเข้มข้น 5 ppm สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ทั้งหมด เนื่องจากน้ำ อเล็กโทรไลต์มีค่า ORP (oxidation-reduction potential) ที่สูงกว่าคลอรีน-

ไฮโปคลอไรต์ และน้ำอเล็กโทรไลต์จะมีกรดไฮโปคลอรัสในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียแต่คลอรีนไฮโปคลอไรต์จะให้ไฮโปคลอไรท์ซึ่งมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อดีกว่ากรดไฮโปคลอรัส จึงทำให้ประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อของน้ำอเล็กโทรไลต์ดีกว่าคลอรีนไฮโปคลอไรต์

ระยะเวลาในการสัมผัสของสารทั้ง 2 ชนิด พบว่า น้ำอเล็กโทรไลต์ใช้เวลา 10 นาทีในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียทั้ง 3 ชนิด แต่คลอรีนไฮโปคลอไรต์ต้องใช้เวลานาน 30 นาที ถึงจะกำจัดเชื้อแบคทีเรียได้ทั้งหมดเนื่องจากไฮโปคลอไรต์สามารถออกซิไดซ์ได้ดีแต่ฆ่าเชื้อโรคได้น้อย (จีราวรรณ, 2553) จึงทำให้ต้องใช้ระยะเวลาที่นานขึ้นเพื่อให้กำจัดเชื้อแบคทีเรียได้ทั้งหมด ทำให้น้ำอเล็กโทรไลต์ประหยัดระยะเวลาในการสัมผัสมากกว่าคลอรีน

ที่ค่า pH เท่ากับ 7 สารทั้งสองชนิดสามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรียได้ดีที่สุดเช่นกัน เนื่องจากที่ pH 7 จะทำให้สารทั้ง 2 ชนิด ให้คลอรีนในรูปของกรดไฮโปคลอรัสและไฮโปคลอไรท์ จึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียของสารทั้ง 2 ชนิดใกล้เคียงกัน

น้ำอเล็กโทรไลต์แบบกรดมีคลอรีนอิสระอยู่ในรูปของกรดไฮโปคลอรัส ซึ่งสามารถสลายตัวได้อย่างรวดเร็วเมื่อทำปฏิกิริยากับแสง ทำให้ไม่มีโอกาสในการเกิดสารไตรฮาโลมีเทนเนื่องจากการทำปฏิกิริยาของคลอรีนอิสระกับสารอินทรีย์ในน้ำ จึงทำให้เหมาะต่อกระบวนการฆ่าเชื้อโรคที่ไม่ต้องการคลอรีนอิสระคงเหลือ เช่น ในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำขนาดเล็กหรือเหมาะต่อการฆ่าเชื้อโรคในการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด

สารละลายคลอรีนไฮโปคลอไรท์มีคลอรีนอิสระอยู่ในรูปของไฮโปคลอไรท์อออนทั้งหมด ซึ่งมีความคงตัวของสารมากกว่ากรดไฮโปคลอรัส จึงทำให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดสารไตรฮาโลมีเทนมากกว่า ดังนั้นกระบวนการฆ่าเชื้อโรคในน้ำที่ต้องใช้คลอรีนในรูปของคลอรีนไฮโปคลอไรท์ ควรมีการควบคุมปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำให้มีสารอินทรีย์น้อยที่สุด เพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดสารไตรฮาโลมีเทน ซึ่งอาจจะส่งผลต่อสุขภาพของผู้ใช้น้ำได้ แต่ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำประปา ก็ยังมีความจำเป็นต้องใช้คลอรีนอิสระคงเหลือเพื่อใช้ในการฆ่าเชื้อโรคที่อาจปนเปื้อนในเส้นท่อระหว่างการจ่ายน้ำสู่ครัวเรือน

ข้อเสนอแนะ

1. ในการนำไปประยุกต์ใช้น้ำอิเล็กโทรไลต์แบบกรดเพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อกำจัดเชื้อโรค ควรใช้ในการปรับปรุงระบบการผลิตน้ำดื่มที่ใช้ขนาดเล็ก หรือระบบน้ำดื่มบรรจุขวดปิดสนิท

2. ด้วยศักยภาพในการฆ่าเชื้อโรคได้เร็ว ใช้เวลาสั้น รวมทั้งมีอำนาจในการออกซิไดซ์สารต่างๆ ของ น้ำอิเล็กโทรไลต์แบบกรดได้ดี จึงควรทำการศึกษาการประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ ดร. พุทธธรา นิลเอสงค์ สำนักวิชาแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ที่อำนวยความสะดวกในการใช้และผลิตน้ำอิเล็กโทรไลต์ในการศึกษา สถาบันวิจัยและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ สนับสนุนงบประมาณในการจัดทำโครงการวิจัยของนักศึกษา

เอกสารอ้างอิง

- กนกทิพย์ ทรัพย์เจริญกุล. (2550). ประสิทธิภาพของคลอรีนไดออกไซด์และน้ำอิเล็กโทรไลต์ชนิดกรดในการทำลายฟิล์มชีวภาพของบาคิลลัสซีเรียส สแตฟฟีโลคอคคัส ออเรียส และ สปอร์เกาเขตติด ของบาคิลลัส ซีเรียส บนพื้นผิวสัมผัสอาหาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ: 127 หน้า.
- จิราวรรณ จานทอง. (2553). ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำประปาและน้ำสระว่ายน้ำที่ฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศิลปากร. กรุงเทพฯ 118 หน้า.
- ชนัญชิตา ลิงคมณี. (2551). การใช้โอโซนและน้ำอิเล็กโทรไลต์ในการควบคุมเชื้อรา *Penicillium digitatum* ของส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.เชียงใหม่: 100 หน้า
- นฤมล จอมมาก. (2555). สมบัติของน้ำอิเล็กโทรไลต์ชนิดเป็นกลางและประสิทธิภาพในการลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในกุ้งขาวแวนนาไม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ: 99 หน้า
- นฤมล ช่างสาร อิศราภรณ์ เอ็มรัตน์ และ ศิริลักษณ์ บุญไกร. (2549). การตรวจสอบประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อของน้ำ Super Oxidized Water (SOW), บริษัท ธเนศพัฒนา จำกัด. กรุงเทพฯ.
- พิเชฐ พิศภา. (2549). การฆ่าเชื้อโรคในน้ำด้วยคลอรีน. กลุ่มงานส่งเสริมสุขภาพ สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดฉะเชิงเทรา.
- Bonde, M. R., Nester, S. E., Khayat, A., Smilanick, J. L., Frederick, R. D., and Schaad, N. W. (1999). Comparison of effects of acidic electrolyzed water and NaOCl on *Tilletia indica* teliospore germination. *Plant Disease* 83: 627–632.
- Guentzel, J.L., Liang, L. K., Callan, M. A., Emmons, S. A. and Dunham, V. L. (2017). Application of electrolysed oxidising water as a sanitiser to extend the shelf-life of seafood products: a review. *J Food Sci Technol.* 54(5): 1321–1332.
- Huang, Y-R., Hsieh, H-S., Lin, S-Y., Lin, S-J., Hung, Y-C. and Hwang, D-F., (2006). Application of electrolyzed oxidizing water on the reduction of bacterial contamination for seafood. *Food Control* 17: 987–993.
- Kim, B. S., Lee, J. Y., and Hwang, B. K. (2000). In vivo control and in vitro antifungal activity of rhamnolipid, a glycolipid antibiotic, against *Phytophthora capsici* and *Colletotrichum orbiculare*. *Pest Management Science* 56(12), 1029-1035.
- Maria I. Gil&Vicente M. Gómez-López&Yen-Con Hung&Ana Allende. (2015). Potential of Electrolyzed Water as an Alternative Disinfectant Agent in the Fresh-Cut Industry. *Food Bioprocess Technol.* 8:1 336–1348.
- Nicos, N., and Scott, S. (2010). Entrepreneurship and occupational choice: Genetic and environmental influences. *Journal of Economic Behavior & Organization* 76: 3–14.
- Venkitanarayanan, K. S., Ezeike, G. O., Hung, Y. C., and Doyle, M. P. (1999). Efficacy of electrolyzed oxidizing water for inactivating *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* Enteritidis and *Listeria mono-cytogenes*. *Applied and Environmental Microbiology* 65, 4276–4279.

