

Research Article

# การออกแบบและพัฒนาถังฆ่าเชื้อโรคด้วยโอโซนระบบ พลาสมาความดันสูง

## Design and development of disinfected bin using ozonization with high pressure plasma system

หทัยรัตน์ เจตนา<sup>1\*</sup> มงคล จงสุพรรณพงษ์<sup>1</sup> ฐกฤต ปานขลิบ<sup>1</sup> และปริดา จันทวงษ์<sup>2</sup>

Hathairus Jatana<sup>1\*</sup>, Mongkol Jongsuphanphong<sup>1</sup>, Thakrit Pankrib<sup>1</sup> and Preeda Chantawon<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สาขาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม 46 ถนนจรัญสนิทวงศ์ เขตบางกอกใหญ่  
กรุงเทพฯ 10600

<sup>1</sup>Energy and Environment Management, Graduate School, Siam Technology College, 46 Jarunsanitwong Road, Bangkok-yai district,  
Bangkok 10600

<sup>2</sup>วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 1518 ถนนประชากรราษฎร์ สาย 1 เขตบางซื่อ  
กรุงเทพฯ 10800

<sup>2</sup>College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 1518 Pracharat Sai 1 Road, Bangsue,  
Bangkok 10800

\*E-mail: Jhathairus@yahoo.com

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการจัดการมูลฝอยติดเชื้อที่เกิดจากสถานพยาบาลขนาดเล็กและห้องปฏิบัติการทดลอง ในช่วงแรกของงานวิจัยนี้ได้ออกแบบถังฆ่าเชื้อและสร้างเครื่องผลิตโอโซนระบบพลาสมาความดันสูงในระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งได้ตรวจสอบประสิทธิภาพสามารถผลิตปริมาณโอโซนได้ 600 mgO<sub>3</sub>/hr ที่ความถี่ไฟฟ้า 10.5 KHz กระแสไฟฟ้า 0.3 A มีประสิทธิภาพมากขึ้นและเป็นเครื่องที่ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยแต่ได้โอโซนในปริมาณที่มาก และเครื่องสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง 5 ชั่วโมง อย่างปกติ ช่วงที่ 2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่โอโซนสัมผัสกับเชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli* (*E. coli*) และ *Salmonella* sp. และความสามารถในการฆ่าเชื้อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยใช้ปริมาณโอโซนที่มีปริมาณเท่ากันที่ 600 mgO<sub>3</sub>/hr เมื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) ของเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* พบว่าเท่ากับ 0.9588 และ *Salmonella* sp. เท่ากับ 0.9864

แสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่โอโซนสัมผัสกับเปอร์เซ็นต์ในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* และ *Salmonella sp.* มีความสัมพันธ์กันอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก ดังนั้นจากผลการทดลองใช้ถังขยะฆ่าเชื้อโรคด้วยโอโซนในระบบพลาสติกความดันสูงสามารถช่วยฆ่าเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* และ *Salmonella sp.* ได้ร้อยละ 100 เมื่อใช้ปริมาณโอโซนที่ 600 mgO<sub>3</sub>/hr นาน 120 นาที

**คำสำคัญ:** โอโซนระบบพลาสติกความดันสูง มุลฝอยติดเชื้อ *Escherichia coli* *Salmonella sp.*

### Abstract

This research aimed to study a method to handle infectious waste from small hospitals and laboratories. The first section of this research was designed to create the waste tank disinfecting by high pressure plasma system of ozone technology in the laboratory scale. The waste bin could produce ozone of 600 mgO<sub>3</sub>/hr at frequency of 10.5 KHz and 0.3 A electrical current. This was more efficient and consumed less energy power. The disinfected bin could be smoothly operated for 5 hours continuously. The next part was to study the relationship between contact time of ozone and the percentage of bacterial reduction using *Escherichia coli* (*E. coli*), and *Salmonella sp.* as test organisms. When applying 600 mgO<sub>3</sub>/hr of ozone to both *E. coli* and *Salmonella sp.*, the correlation analysis (R<sup>2</sup>) between contact time and percent bacterial reduction was 0.9588 and 0.9864 for *E. coli* and *Salmonella sp.*, respectively. This result indicated that the ozonization bin with high pressure plasma system could be used to disinfect *E. coli*, and *Salmonella sp.* up to 100 percent when using ozone 600 mgO<sub>3</sub>/hr for 120 minutes.

**Keywords:** high pressure plasma system of ozone, infectious waste, *Escherichia coli*, *Salmonella sp.*

### บทนำ

ปัจจุบันปัญหาเกี่ยวกับมูลฝอยติดเชื้อมีแนวโน้มที่ทวีความรุนแรงมากขึ้นหากไม่ได้รับการจัดการที่เหมาะสม เนื่องจากแหล่งกำเนิดมูลฝอยติดเชื้อมีการเพิ่มจำนวนและกระจายไปอยู่ในทุกภูมิภาคของประเทศ โดยปริมาณการเกิดมูลฝอยติดเชื้อทั่วประเทศในปี 2556 จากแหล่งกำเนิดประเภทต่าง ๆ เกิดขึ้นประมาณ 50,481 ตันต่อปี แยกได้เป็น โรงพยาบาลรัฐ 26,597 ตันต่อปี (ร้อยละ 57) โรงพยาบาลเอกชน 9,172 ตันต่อปี (ร้อยละ 19) คลินิก 7,850 ตันต่อปี (ร้อยละ 17) โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลหรือสถานีอนามัย 3,206 ตันต่อปี (ร้อยละ 6) สถานพยาบาลสัตว์ 135 ตันต่อปี (ร้อยละ 0.4) และห้องปฏิบัติการเชื้ออันตราย 157 ตันต่อปี (ร้อยละ 0.6) (กรมควบคุมมลพิษ, 2557) และในปี 2557 จากข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษพบว่ามูลฝอยติดเชื้อเกิดขึ้นทั่วประเทศประมาณ 52,000 ตัน เพิ่มขึ้นจากปี 2556 ประมาณ 1,500 ตัน หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 3 โดยร้อยละ 57 เป็นมูลฝอยติดเชื้อ

ในโรงพยาบาลสังกัดกระทรวงสาธารณสุข ที่เหลือร้อยละ 43 เป็นของโรงพยาบาลเอกชนและสถานบริการสาธารณสุขขนาดเล็ก (กองแผนงานและประเมินผล, 2558)

เมื่อมูลฝอยติดเชื้อได้ถูกทิ้งออกสู่สิ่งแวดล้อมไปปะปนร่วมกับมูลฝอยชุมชนเพิ่มมากขึ้นทำให้เกิดอัตราความเสี่ยงในการแพร่กระจายเชื้อโรคเพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีผลต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน โดยเฉพาะสุขภาพอนามัยของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานเก็บขนหรือผู้ทำงานในสถานที่กำจัดซึ่งทำให้เกิดการเจ็บป่วยด้วยโรคต่าง ๆ ได้ เช่น โรคไวรัสตับอักเสบบี โรคระบบทางเดินหายใจ วัณโรค อหิวาต์ บาดทะยัก ไทฟอยด์ บิดมีตัว แผลริมอ่อน หนองใน ไข้หวัดใหญ่ การติดเชื้อในเยื่อหุ้มสมองและไขสันหลัง โรคพยาธิหรือแม้แต่การติดเชื้อโรคเอดส์ ทำให้มีผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนและสิ่งแวดล้อมในเขตเมืองทั่วไป (กรมอนามัย, 2546; กรมควบคุมมลพิษ, 2551)

ปัจจุบันมีเทคโนโลยีการกำจัดขยะมูลฝอยติดเชื้อที่มีชื่ออยู่ในประเทศ เช่น การทำลายเชื้อด้วยสารเคมี (chemical disinfection) การเผาด้วยเตาเผา (incineration) การทำลายเชื้อด้วยไอน้ำ (steam sterilization/autoclaving) และการทำลายเชื้อด้วยความร้อน (thermal inactivation) ส่วนใหญ่เป็นเทคโนโลยีขนาดใหญ่ที่ต้องใช้เงินลงทุนสูง ต้องมีพื้นที่รองรับ และต้องใช้นุ้บุคลากรที่มีความรู้ในการควบคุมดูแลและซ่อมบำรุง เหมาะสำหรับสถานพยาบาลขนาดใหญ่และกลุ่มนักธุรกิจผู้ลงทุน ส่วนเทคโนโลยีการทำลายเชื้อด้วยสารเคมีถึงแม้จะมีการใช้ฆ่าเชื้อเบื้องต้น และมีการใช้แพร่หลาย แต่สุดท้ายจะมีสารเคมีตกค้างก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (กรมควบคุมมลพิษ, 2558)

โอโซนได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการกำจัดเชื้อโรคเนื่องจากการมีประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ โดยการเกิดออกซิเดชันของเยื่อหุ้มเซลล์ โอโซนมีค่าศักย์ออกซิเดชัน (oxidation potential) ที่สูงกว่าคลอรีนถึง 1.5 เท่า จึงสามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้กว้างกว่าคลอรีนและสารฆ่าเชื้อโรคอื่น ๆ โดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาสารเคมีตกค้าง และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Xu, 1999) กลไกการทำงานของโอโซนเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะคือ โอโซนเข้าทำปฏิกิริยาโดยตรง (direct attack) หรือโดยทางอ้อม (indirect attack) ซึ่งเกิดจากอนุมูลไฮดรอกซิล (hydroxyl radical:  $\cdot\text{OH}$ ) ที่เกิดจากการแตกตัวของโอโซนเป็นตัวเข้าทำปฏิกิริยา (Gómez-Ramos และคณะ, 2011) โดยโอโซนจะยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์อย่างรวดเร็วด้วยการเข้าไปทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ภายในเซลล์ (intracellular enzyme) และกรดนิวคลีอิก (nucleic acid) อีกทั้งยังไปทำลายสภาพของส่วนที่หุ้มเซลล์แบคทีเรียโดยการเกิดออกซิเดชันของฟอสโฟลิพิด (phospholipids) และลิโปโปรตีน (lipoprotein) (Khadre และคณะ, 2001; Elvis และ Ekta, 2011)

จากการศึกษาระบบการผลิตโอโซนในปัจจุบันมีอยู่หลายแบบ แต่ที่นิยมใช้มี 2 แบบคือ แบบความต่างศักย์สูง (discharge high voltage) และแบบระบบพลาสมาความดันสูง (high pressure plasma) สำหรับงานวิจัยนี้จะเลือกใช้แบบระบบพลาสมาความดันสูง เนื่องจากเป็นระบบที่ใช้พลังงานในการผลิตโอโซนต่ำและได้โอโซนในปริมาณที่มากกว่าจึงมีความเหมาะสมกว่าในการผลิตโอโซนเชิงอุตสาหกรรม การออกแบบและพัฒนาสร้างเครื่องผลิตโอโซนระบบพลาสมาความดันสูงจากเดิมที่มีอยู่สามารถทำได้โดยใช้แหล่งจ่ายไฟแรงดันสูงจากคอยล์รถยนต์ที่หาได้ทั่วไป นำมาติดตั้งกับมอเตอร์เพื่อให้สามารถปรับความเร็วได้ ส่วนหลอดผลิตโอโซนได้ออกแบบเป็นท่อสแตนเลสแบบกลวงบางเพื่อลดกระแสไฟฟ้าที่สัมผัสกับผิวท่อ โดยใช้เทคนิคพลาสมาดิสชาร์จ ซึ่งมีส่วนประกอบ 3

ส่วน คือ ระบบเตรียมอากาศ เซลล์ไอโซไนเซอร์ และระบบจ่ายไฟฟ้าแรงสูง จึงทำให้เกิดการดีสชาร์จไฟฟ้าผ่านอากาศหรือแก๊สออกซิเจนเพื่อกำเนิดไอโซน ผลผลิตไอโซนจะขึ้นอยู่กับการปรับความต่างศักย์ไฟฟ้าในช่วง 6-18 กิโลโวลต์ ความถี่  $50\text{-}10^3$  เฮิร์ต ระยะขั้วดีสชาร์จ 2 มิลลิเมตร ซึ่งระบบผลิตไอโซนพลาสมาความดันสูงเป็นการเกิดแก๊สไอโซนจากสนามไฟฟ้าที่มีความเข้มข้นสูง (ความเข้มข้นสูงเนื่องจากระยะห่างของขั้วบวกและลบอยู่ใกล้กันมาก ประมาณ 2 – 3 มิลลิเมตร) และภายในหลอดผลิตไอโซนที่ออกแบบจะมีแรงดันของอากาศ จึงทำให้เกิดไอโซนในระบบความดันสูง และได้ปริมาณที่มาก (มกคล, 2550)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงมีแนวคิดในการออกแบบถังขยะฆ่าเชื้อโรคด้วยไอโซนระบบพลาสมาความดันสูงสำหรับฆ่าเชื้อโรคในมูลฝอยติดเชื้อจากแหล่งกำเนิดก่อนจะนำไปกำจัดเพื่อลดอันตรายเสี่ยงในการติดเชื้อมกับผู้สัมผัสถูกหรือผู้เกี่ยวข้อง

### วัสดุและวิธีการทดลอง

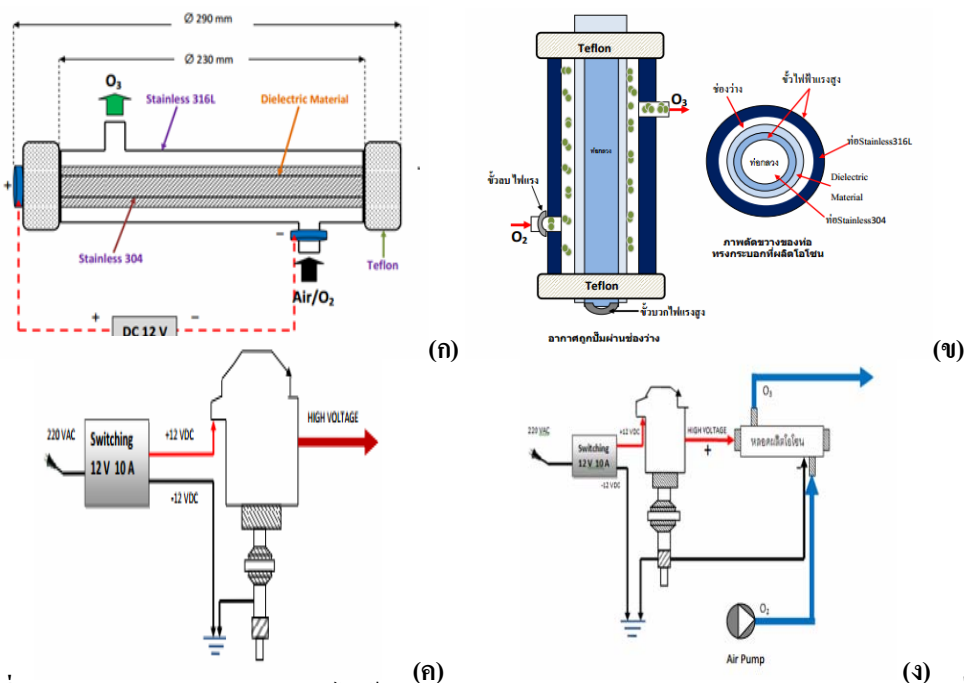
#### การออกแบบและสร้างวงจรผลิตไอโซนระบบพลาสมาความดันสูง

เครื่องผลิต ไอโซน ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ หลอดผลิตไอโซน, วงจรสร้างแรงดันไฟฟ้าแรงดันสูง, ความถี่สูง, ป้อนจ่ายอากาศ โดยหลอดผลิตไอโซนหรือส่วนผลิตไอโซน ออกแบบโดยใช้วัสดุอุปกรณ์ ที่ทนต่อการกัดกร่อน ซึ่งหลอดผลิตไอโซนที่ออกแบบนั้น ประกอบด้วยท่อทรงกระบอก 3 ชั้น ชั้นนอกสุดเป็นท่อสเตนเลส 316 L ขนาด  $\varnothing$  16 mm ยาว 290 mm ชั้นที่ 2 เป็น dielectric material ขนาด  $\varnothing$  12 mm ส่วนชั้นที่ 3 เป็นชั้นในสุด เป็นท่อสเตนเลสบาง ขนาด  $\varnothing$  10 mm และท่อสำหรับทางเข้าของอากาศถูกป้อนเข้าหลอดผลิตไอโซน ส่วนอีกด้านหนึ่งเป็นด้านทางออกของไอโซนที่เกิดขึ้นในหลอดผ่านออกมาขนาด  $\varnothing$  0.6 mm และช่องว่างภายในระหว่างท่อสเตนเลสกับ dielectric material มีขนาด  $\varnothing$  2 mm ท่อและความยาวของหลอดจะเป็นตัวกำหนดความเข้มของไอโซนที่หลอดผลิตได้ โดยปลายทั้งสองข้างของหลอดผลิตไอโซนระหว่างท่อทั้งสามชั้นจะถูกปิดไว้ไม่ให้เกิดรอยรั่ว เพื่อให้เกิดแรงดันขณะที่ไอโซนผ่านออกมาตามช่องว่างระหว่าง dielectric material กับหลอดภายนอก ดังแสดงในรูปที่ 1 ก. และ ข.

การออกแบบวงจรไฟฟ้าแรงดันสูงที่จ่ายให้หลอดผลิตไอโซน (รูปที่ 1 ค.) ทำได้โดยการประยุกต์ใช้อุปกรณ์แทนหม้อแปลงไฟฟ้าเพิ่มแรงดันไฟฟ้าสูงแบบ switching power supply ที่ทำการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V, 50 Hz ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 1-10 kV 1-10 kHz voltage และใช้ชุดปรับความถี่โดยใช้มอเตอร์ 12 VDC และใช้ switching 12 VDC 10 A เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้า เพื่อให้เกิดเป็นวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง

ในแง่ของวงจรผลิตไอโซนแรงดันสูง ความถี่สูง (รูปที่ 1 ง.) มีหลักการทำงานของการผลิตก๊าซไอโซนคือเป็นการผลิตไอโซนโดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีแรงดันสูง ความถี่สูง ซึ่งมีผลต่อปริมาณไอโซนที่เกิดขึ้น ส่วนระบบพลาสมาความดันสูงอยู่ที่การออกแบบหลอดผลิตไอโซน ซึ่งหลักการเกิดไอโซนคือ ไอโซนจะเกิดขึ้นได้โดยอาศัย

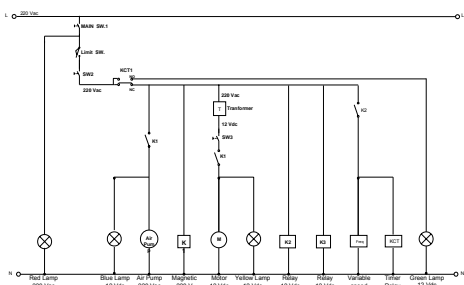
การแตกตัวของโมเลกุลของแก๊สออกซิเจน ซึ่งจะทำให้เกิดไอโชนได้จากสมการคือ  $O_2 + O \rightarrow O_3$  โดยไอโชนจะมีความสามารถในการทนต่อแรงดันไฟฟ้าได้ค่าหนึ่งและความร้อนก็มีผลต่อปริมาณ ไอโชนที่เกิดขึ้น ดังนั้นเพื่อให้ได้ปริมาณการผลิต ไอโชนที่เหมาะสมจึงจำเป็นต้องควบคุมปริมาณแรงดันและความถี่ไฟฟ้าให้เหมาะสม



รูปที่ 1. แสดงลักษณะวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้า หลอดผลิตโอโซน และวงจรผลิตโอโซนแรงดันสูง ความถี่สูง  
(ก) หลอดผลิตโอโซน (ข) ลักษณะการเกิดโอโซน (ค) วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง และ (ง) วงจรผลิตโอโซน

**การออกแบบวงจรการทำงานของเครื่องผลิตโอโซนและประกอบเครื่องผลิตโอโซนระบบพลาสติกความดันสูง**

ออกแบบโดยใช้ limit switch เป็นตัวควบคุมการทำงานของเครื่องผลิตโอโซน และทำงานตามเวลาที่ตั้งไว้จาก timer relay (รูปที่ 2 ก.) เมื่อมีการเปิดฝาถังขยะเพื่อทิ้งขยะโดยการเหยียบ เมื่อปล่อยขาเหยียบแล้วฝาถังขยะจะปิด เครื่องโอโซนจะเริ่มทำงานทันทีตามเวลาที่ตั้งไว้จนจบ เครื่องก็จะหยุดทำงาน หรือระหว่างเครื่องกำลังทำงานอยู่ มีการเปิดฝาถังขยะขึ้น เครื่องผลิตโอโซนก็จะหยุดทำงานทันที และจะเริ่มทำงานเมื่อปิดฝาถังขยะลงมา จึงทำให้แน่ใจว่าโอโซนจะไม่รั่วไหลออกมา มีความปลอดภัยสำหรับผู้ใช้งาน จากนั้นจึงได้ประกอบกล่อง control box แบบพลาสติก กันน้ำ ความชื้น และน้ำหนักเบาขนาด 35x48x18 cm3 เป็นเครื่องผลิตโอโซนระบบพลาสติกความดันสูง (รูปที่ 2 ข.)



(ก)

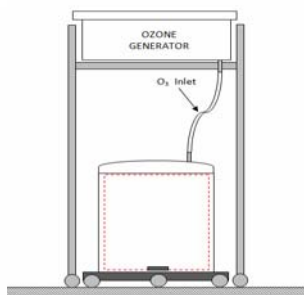
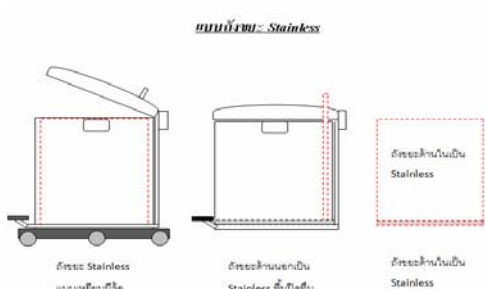
(ข)

รูปที่ 2. (ก) วงจรการทำงานของเครื่องผลิตโอโซน และ (ข) เครื่องผลิตโอโซนระบบพลาสติกความดันสูง

### การออกแบบถังขยะติดตั้งเครื่องผลิตโอโซน

ใช้วัสดุสแตนเลสทำเป็นถังขยะทั้ง 2 ชั้น แบบใช้เท้าเหยียบเพื่อเปิด ขนาดตัวถังด้านใน 30.5x38.1 cm<sup>2</sup> โดยด้านล่างของถังชั้นนอกเป็นแบบทึบปิดสนิท ส่วนบริเวณขอบบนถังใช้ท่อวงซลิโคนครอบปิด เพื่อป้องกันไม่ให้โอโซนผ่านออกมาได้ มีทางเข้าโอโซนอยู่ด้านบนฝา ดังรูปที่ 3 ก. แล้วติดตั้งเข้ากับเครื่องผลิตโอโซนระบบพลาสติกความดันสูง ตามรูปที่ 3 ข.

ถังขยะฆ่าเชื้อโรคด้วยโอโซนระบบพลาสติกความดันสูงซึ่งติดตั้งเครื่องผลิตโอโซนนี้ สามารถผลิตโอโซนที่ความเข้มข้น 0-600 mgO<sub>3</sub>/hr ประกอบติดตั้งบนรถเข็นสแตนเลส ขนาด 40x50x84 cm<sup>3</sup> มีสายซลิโคนต่อเข้าถังขยะด้านบนเพื่อส่งโอโซน



(ก)

(ข)

รูปที่ 3. (ก) ถังขยะสแตนเลสแบบเท้าเหยียบ และ (ข) ถังขยะฆ่าเชื้อโรคด้วยโอโซนระบบพลาสติกความดันสูง

## การทดสอบประสิทธิภาพของถังขยะในการฆ่าเชื้อโรค

เตรียมเชื้อที่ต้องการทดลองโดยใช้ไม้พันสำลีที่ผ่านการฆ่าเชื้อ เชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli* (*E. coli*) และ *Salmonella* sp. มาป้ายลงในจานเพาะเชื้อ ที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยแบ่งเป็น 1 ช่อง ๆ ละ 2 ตารางนิ้ว โดยให้ช่องซ้าย (1) เป็นเชื้อ *E. coli* และช่องขวา (2) เป็น *Salmonella* sp. หลังจากนั้นวางลงในถังขยะฆ่าเชื้อโรคด้วยไอโซนระบบพลาสมาความดันสูงที่สามารถผลิตไอโซนที่ความเข้มข้นได้ 0–600 mgO<sub>3</sub>/hr

ทำการทดลองฆ่าเชื้อทั้ง 2 ชนิด เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่ไอโซนสัมผัสกับรื้อยะในการฆ่าเชื้อโรคที่ปริมาณไอโซน 600 mgO<sub>3</sub>/hr โดยปรับเปลี่ยนเวลาในการสัมผัสตั้งแต่ 0 ถึง 120 นาที ทำการทดลองทีละจาน เริ่มทดลองตามระยะเวลาที่กำหนด คือ 20, 40, 60, 80, 100, 120 นาที ซึ่งในแต่ละครั้ง หลังจากครบกำหนดเวลานำจานเพาะเชื้อ ไปบ่มที่ตู้บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำออกมาวัดปริมาณเชื้อที่เหลือ โดยดูจากปริมาณโคโลนีที่ขึ้นต่อพื้นที่ 1 ตารางนิ้ว โดยในจานควบคุมซึ่งเป็นแบคทีเรียขึ้นเต็มพื้นที่คิดเป็นรื้อยะ 100 จำนวนหารรื้อยะของแบคทีเรียที่ไอโซนสามารถฆ่าได้ในระยะเวลาที่กำหนด และทำการทดลอง 3 ครั้ง โดยครั้งที่ 1 วางที่ด้านซ้ายของถัง ครั้งที่ 2 วางที่ด้านขวาของถัง และครั้งที่ 3 วางที่ด้านบนของถังซึ่งเป็นจุดที่อยู่ใกล้ไอโซนมากที่สุด

## ผลการทดลอง

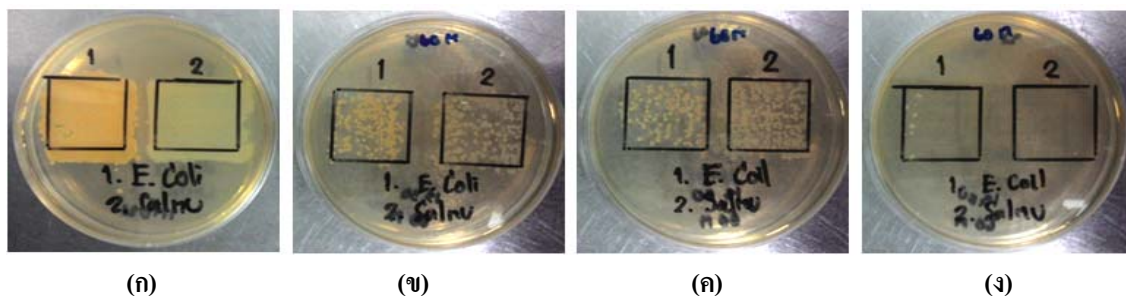
### ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อ *E. coli* และ *Salmonella* sp.

จากการทดลองฆ่าเชื้อด้วยถังขยะฆ่าเชื้อโรคด้วยไอโซนระบบพลาสมาความดันสูงในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* และ *Salmonella* sp. โดยกำหนดความเข้มข้นไอโซนที่ 600 mgO<sub>3</sub>/hr ใช้ระยะเวลาที่ไอโซนสัมผัสกับเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* และ *Salmonella* sp. กำหนดให้เริ่มจาก 0, 20, 40, 60, 80, 100, 120 นาที ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 1 โดยพบว่าที่ 100 นาที ไอโซนสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* ได้ร้อยละ 99.9 และ *Salmonella* sp. ได้ร้อยละ 95.9 ที่เวลา 120 นาที ไอโซนสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* และ *Salmonella* sp. ได้ร้อยละ 100 จะเห็นได้ว่าที่ความเข้มข้นไอโซน 600 mgO<sub>3</sub>/hr สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* และ *Salmonella* sp. ได้ร้อยละ 100 ที่เวลา 120 นาที อย่างไรก็ตาม มีข้อสังเกตว่าหากวางจานเพาะเชื้อไว้ใกล้แหล่งกำเนิดไอโซนที่ติดตั้งด้านบนของถังขยะ (ครั้งที่ 3) (รูปที่ 4–7) จำนวนเชื้อจะลดลงมากกว่าการวางไว้ทางด้านซ้ายหรือด้านขวาของถังขยะ จึงทำให้ความแปรปรวนของการลดลงของแบคทีเรียที่แสดงในตารางที่ 1 มีค่าสูงในบางช่วงเวลา

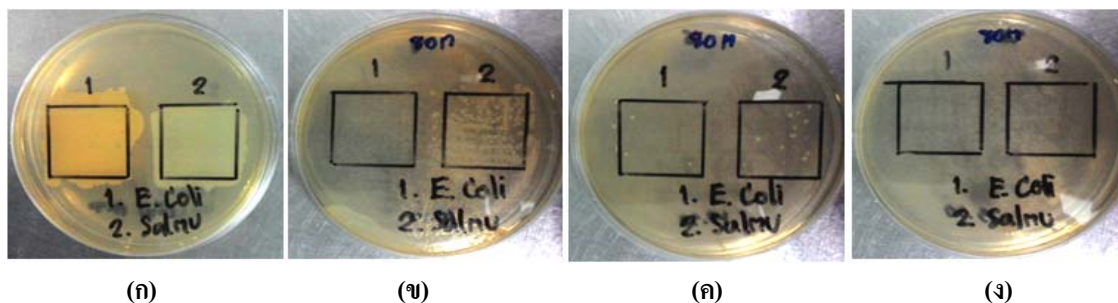
จากการทดลองฆ่าเชื้อด้วยถังขยะฆ่าเชื้อโรคด้วยไอโซนระบบพลาสมาความดันสูงกับเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* และ *Salmonella* sp. นั้น ได้นำมาเขียนเป็นกราฟดังรูปที่ 8 เพื่อวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) พบว่าระยะเวลาที่เชื้อสัมผัสกับไอโซนมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับรื้อยะการตายของเชื้อ โดยค่า  $R^2$  ของแบคทีเรีย *E. coli* เท่ากับ 0.9588 และค่า  $R^2$  ของแบคทีเรีย *Salmonella* sp. เท่ากับ 0.9864

ตารางที่ 1. ร้อยละการลดลงของแบคทีเรียทดสอบ ซึ่งวางในถังขยะและสัมผัสไอ โชนความเข้มข้นที่ 600 mgO<sub>3</sub>/hr เป็นระยะเวลาต่าง ๆ ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เวลาในการสัมผัสไอโชน (นาที)	ร้อยละการลดลงของ <i>E. coli</i>	ร้อยละการลดลงของ <i>Salmonella</i> sp.
0	0 ± 0.00	0 ± 0.00
20	20.37 ± 0.10	14.92 ± 0.19
40	39.00 ± 0.35	30.10 ± 0.22
60	56.23 ± 38.49	50.63 ± 43.38
80	90.10 ± 0.12	72.10 ± 35.02
100	99.93 ± 0.12	95.90 ± 0.36
120	100.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00

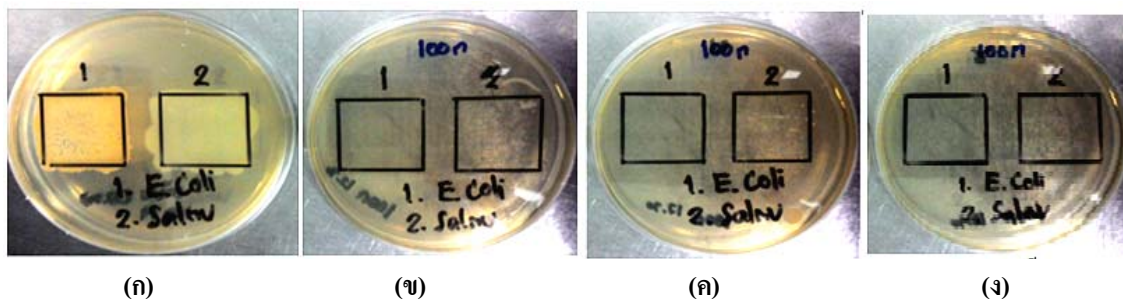


รูปที่ 4. แสดงผลการฆ่าเชื้อ โรคด้วยถังขยะฆ่าเชื้อ โรคด้วยไอ โชนระบบพลาสติกความดันสูงที่เวลา 60 นาที  
(ก) งานควบคุม (ข) ครั้งที่ 1 (ค) ครั้งที่ 2 และ (ง) ครั้งที่ 3

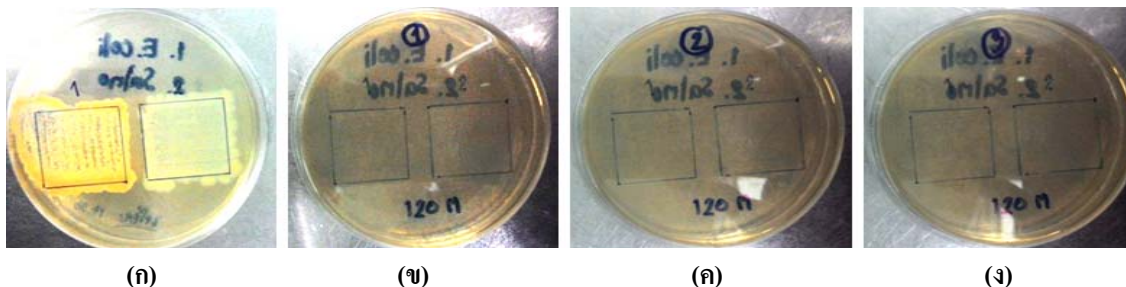


รูปที่ 5. แสดงผลการฆ่าเชื้อ โรคด้วยถังขยะฆ่าเชื้อ โรคด้วยไอ โชนระบบพลาสติกความดันสูงที่เวลา 80 นาที  
(ก) งานควบคุม (ข) ครั้งที่ 1 (ค) ครั้งที่ 2 และ (ง) ครั้งที่ 3

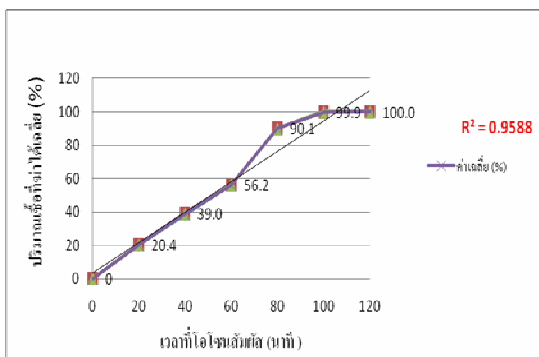




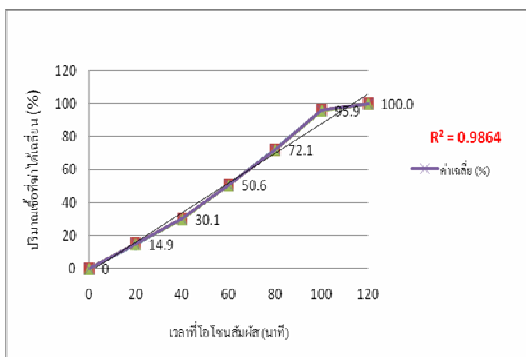
รูปที่ 6. แสดงผลการฆ่าเชื้อโรคด้วยถังขยะฆ่าเชื้อโรคด้วยโอโซนระบบพลาสติกความดันสูงที่เวลา 100 นาที  
(ก) งานควบคุม (ข) ครั้งที่ 1 (ค) ครั้งที่ 2 และ (ง) ครั้งที่ 3



รูปที่ 7. แสดงผลการฆ่าเชื้อโรคด้วยถังขยะฆ่าเชื้อโรคด้วยโอโซนระบบพลาสติกความดันสูงที่เวลา 120 นาที  
(ก) งานควบคุม (ข) ครั้งที่ 1 (ค) ครั้งที่ 2 และ (ง) ครั้งที่ 3



(ก)



(ข)

รูปที่ 8. กราฟแสดงประสิทธิภาพการใช้โอโซนในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย (ก) *E. coli* และ (ข) *Salmonella* sp.

## วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

มีการประยุกต์ใช้โอโซนหลากหลายประการในอุตสาหกรรมในฐานะเป็นตัวออกซิไดส์ (oxidising agent) ที่แรง รวมถึงการนำไปบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตแบตเตอรี่และการฆ่าเชื้อโรคอีกด้วย (ไพโรจน์และคณะ, 2559) ทั้งนี้เนื่องจากโอโซนมีคุณสมบัติที่โดดเด่นในการฆ่าเชื้อโรคได้ทุกชนิด ทั้งไวรัส แบคทีเรีย ยีสต์ รา และโพรโทซัว รวมถึง สปอร์ ยีสต์ และไข่พยาธิ โดยโอโซนจะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารประกอบที่ห่อหุ้มเซลล์ทำให้เซลล์แตก ถ้าเป็นไวรัส โอโซนจะสลายกรดนิวคลีอิก ส่วนยีสต์หรือโพรโทซัว โอโซนจะทำลายเยื่อหุ้มชั้นในไปจนถึงส่วนประกอบที่อยู่ภายในเซลล์ (มงคลและสันทัต, 2552)

จากรายงานที่ผ่านมา พบว่าโอโซนมีประสิทธิภาพสูงมากในการฆ่าเชื้อโรคในน้ำดื่ม เนื่องจากสามารถต้านการปนเปื้อนของ *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Giardia* และ *Cryptosporidium* ในอาหารและน้ำได้ (Lamarre, 1997; Khadrel และคณะ, 2001) ดังนั้นเมื่อสามารถสร้างเครื่องผลิตโอโซนระบบพลาสมาความดันสูง ผสมเข้ากับ การออกแบบถังฆ่าเชื้อโรค แล้วนำมารวมกัน จึงเป็นการประยุกต์ใช้คุณสมบัติของโอโซนให้กว้างขวาง ออกไป ซึ่งผลจากการศึกษาในครั้งนี้สรุปได้ว่า สามารถออกแบบถังฆ่าเชื้อโรคโดยใช้โอโซนระบบพลาสมา ความดันสูงได้ และเมื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียก่อโรคด้วยถังฆ่าเชื้อแบบนี้นี้ พบว่าการ ลดลงของแบคทีเรียมีความสัมพันธ์ไปในทางเดียวกับระยะเวลาในการสัมผัสโอโซน โดยพิจารณาจากค่า สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) ซึ่งนับว่าอยู่ในเกณฑ์ดีมาก และที่เวลา 120 นาที สามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรียได้หมด ดังนั้นถังฆ่าเชื้อโรคโดยใช้โอโซนระบบพลาสมาความดันสูงจึงสามารถนำไปใช้ในการฆ่าเชื้อโรคจากมูลฝอย ดิบเชื้อได้จริง

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ของบัณฑิตวิทยาลัย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยามทุกท่านที่ให้ความรู้ในด้านต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณ คุณพรหมฉัตร เจริญพัฒน์ นักวิทยาศาสตร์การแพทย์ สถานเสาวภา สภากาชาดไทย ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำตลอดจนสอนวิธีการเพาะเชื้อ เลี้ยงเชื้อและทดลองเชื้อ และขอขอบคุณ สถานเสาวภา สภากาชาดไทยที่เอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ และอำนวยความสะดวกในการทดลอง

## เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ, (2551) คู่มือแนวทางการจัดการมูลฝอยติดเชื้อขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น, กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ, หน้า (1-4)-(1-7).
- กรมควบคุมมลพิษ, (2556) รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2556, กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ, หน้า 2-14.

- กรมควบคุมมลพิษ, (2558) เทคโนโลยีการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อ, ที่มา: [http://www.pcd.go.th/info\\_serv/waste\\_infectious.htm#s4](http://www.pcd.go.th/info_serv/waste_infectious.htm#s4), สืบค้น 7 มีนาคม 2558.
- กรมอนามัย, (2546) คู่มือการดำเนินงานตามกฎกระทรวงว่าด้วยการจัดการมูลฝอยติดเชื้อ พ.ศ. 2545, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, กรุงเทพฯ, หน้า 15-20.
- กองแผนงานและประเมินผล, (2558) สถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2557 . ข่าวสารสิ่งแวดล้อม, ฉบับที่ 1/2558, กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ, หน้า 4.
- ไพโรจน์ หอมอ่อน มงคล จงสุพรรณพงศ์ ฐกฤต ปานขลิบ และปรีดา จันทวงษ์, (2559) การพัฒนาและออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตแบตเตอรี่ด้วยเทคโนโลยีโอโซนระบบพลาสมาความดันสูง. วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์, 15(1): 21-33.
- มงคล จงสุพรรณพงศ์, (2550) การผลิตโอโซนในระบบพลาสมาความดันสูงสำหรับบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงกุ้งและชุมชน, ที่มา: [http://tdc.thailis.or.th/tdc/browse.php?option=show&browse\\_type=title&titleid=53759&query=โอโซน&s\\_mode=any&d\\_field=&d\\_start=0000-00-00&d\\_end=2559-03-04&limit\\_lang=&limited\\_lang\\_code=&order=&order\\_by=&order\\_type=&result\\_id=25&maxid=244](http://tdc.thailis.or.th/tdc/browse.php?option=show&browse_type=title&titleid=53759&query=โอโซน&s_mode=any&d_field=&d_start=0000-00-00&d_end=2559-03-04&limit_lang=&limited_lang_code=&order=&order_by=&order_type=&result_id=25&maxid=244), สืบค้น 7 มีนาคม 2558.
- มงคล จงสุพรรณพงศ์ และสันทัต ศิริอนันต์ไพบุลย์, (2552) การผลิตโอโซนระบบพลาสมาความดันสูงสำหรับบำบัดน้ำเสีย. วารสารวิทยาศาสตร์ มศว., 25(1): 133-145.
- Elvis A.M. and Ekta J.S., (2011) Ozone therapy: a clinical review. J. Nat. Sc. Biol. Med., 2(1): 66-70.
- Gómez-Ramos M.d.M., Mezcuca M., Agüera A., Fernández-Alba A.R., Gonzalo S. et al., (2011) Chemical and toxicological evolution of the antibiotic sulfamethoxazole under ozone treatment in water solution. J. Hazard. Mater., 192(1); 18–25.
- Khadre M.A., Yousef A.E. and Kim J.-G., (2001) Microbiological aspects of ozone applications in food: a review. J. Food Sci., 66(9): 1242–1252.
- Lamarre L. (1997) A fresh look at ozone. EPRI J., 22(4): 6-15.
- Xu L., (1999) Use of ozone to improve the safety of fresh fruits and vegetable. Food Technol., 53(10): 58-62