

ระบบพลาสมาโอโซนในเซอร่าสำหรับการกำจัดจุลินทรีย์ในอาหารทะเล

Plasma Ozonizer System for Microbial Treatment in the Fish and Shell Fishes Sea Food

พิชญ์ศักดิ์ จันทร์กุล* และ ลัญจกร จันทร์อุดม**

Pitchasak Chankuson* and Lunchakon Chanudom**

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการผลิตก๊าซโอโซนด้วยสนามไฟฟ้าแรงดันและความถี่สูง โดยนำหลักการของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ แบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า โดยการออกแบบวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ให้ทำงานที่ความถี่ 2 กิโลเฮิร์ต ผ่านหม้อแปลงความถี่สูง วงจรเรียงกระแส และฟิลเตอร์ทางด้านเอาต์พุต เพื่อให้ได้ไฟฟ้ากระแสตรงที่แรงดันเอาต์พุต 16 กิโลโวลต์ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับหลอดโอโซนในเซอร่าที่ใช้ในงานวิจัยประกอบด้วยหลอดโอโซนในเซอร่ายาว 0.21 เมตร ขั้วไฟฟ้าโลหะไร้สนิม และหน่วยจ่ายพลังงาน ขั้วไฟฟ้าภายในหุ้มด้วยแก้วไพเร็กซ์ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารไดอิเล็กตริก ขั้วไฟฟ้าภายนอกทำด้วยโลหะไร้สนิม ช่องดิสชาร์จมีขนาด 0.0075 เมตร โดยให้ปริมาณโอโซน 20-70 มิลลิกรัม O_3 /ลิตรของ O_2 ที่ศักย์ไฟฟ้าในช่วง 6-8 กิโลโวลต์ โดยมีอัตราการไหลของก๊าซเป็น 2 ลิตรต่อนาที พบว่าปริมาณความเข้มข้นของโอโซนเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความต่างศักย์ไฟฟ้า อาหารทะเลที่ได้จากพื้นที่ปากนคร ได้แก่ ปลาตะกรับ (*Scatophagus argus*) กุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) ปูดำ (*Scylla serrata*) กุ้งค็อกเคน (*Oratosquilla neap*) หอยแมลงภู่ (*Perna viridis*) และปลาเก๋า (*Eleutheronema tebradactylum*) นำมาหาค่าจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด, ปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียและ *E.coli* พบว่าจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดอยู่ระหว่าง 1.8×10^6 - 9.0×10^8 CFU/g รวมถึงปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียและ *E. coli* อยู่ในระดับที่เกินจากมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช. 9007-2548) จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดลดลงอย่างน้อย 1 log CFU/g ในตัวอย่างปูดำกับปลาเก๋า, ลดลง 2 log CFU/g ในตัวอย่าง ปลาตะกรับกับกุ้ง และลดลง 4 log CFU/g ในตัวอย่างกุ้งกับหอยแมลงภู่ หลังจากการผ่านโอโซนสัมผัสกับอาหารทะเล 3 นาที พบว่า จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดลดลงอย่างน้อย 1 log CFU/g ในตัวอย่างปูดำกับปลาเก๋า, ลดลง 2 log CFU/g ในตัวอย่าง ปลาตะกรับกับกุ้ง และลดลง 4 log CFU/g ในตัวอย่างกุ้งกับหอยแมลงภู่ โอโซนมีผลต่อการลดลงของปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียและ *E. coli* แต่อย่างไรก็ตามปริมาณ MPN Fecal coliform /กรัม ยังคงสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณเชื้อเริ่มต้นที่มีอยู่สูงก่อนการผ่านโอโซน

คำสำคัญ : ระบบพลาสมาโอโซนในเซอร่า, จุลินทรีย์, อาหารทะเล

*อาจารย์ประจำหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

** อาจารย์ประจำหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

Abstract

This paper presents the method of ozone gas generation using high voltage high frequency electric field, with increasing voltage flyback converter. The flyback converter is designed to operate at 2 kHz frequency through a high frequency transformer, a rectifier and filter circuits in order to operate the maximum current power supply at output voltage of 16 kV. By adapting the Plasma ozonizer consists of ozonizer cell with 0.21 m length and diameter of 35 mm, stainless steel electrode and high voltage power supply unit. An inner electrode was put in pyrex test tube which was a dielectric while discharge gap between electrode was fixed at 0.0075 m. The result showed that concentration of ozone generated was in rang of 20-70 mg of ozone/liter of oxygen feed at 6-8 kV and optimum flow rate of 2 l/min. Seafood obtained from Pak Nakhon area that is *Scatophagus argus*, *Penaeus monodon*, *Scylla serrata*, *Oratosquilla neap*, *Perna viridis* and *Eleutheronema tetradactylum* was assessed for the amount of total bacteria, coliform and *E. coli*. It was found that the amount of total bacteria were 1.8×10^6 - 9.0×10^8 CFU/g. The amount of coliform and detected *E. coli* was higher than Thai Agricultural Commodity and Food Standard (TACFS 9007-2548). This study was conducted to determine the effects of ozonated water with different exposure times (1, 2 and 3 min). Results showed that amount of bacteria was decreased when time contact increased and ozonated water could effectively reduced 6 and 8 log of initial suspension to 4, 5, 6 and 7 log respectively of total bacteria after contacting for 3 minutes. Ozonated water could reduced all tested bacteria and inactivating *E. coli* on seafoods.

Keywords : Plasma Ozonizer, Microbiology, Sea Food



บทนำ

เทศบาลตำบลปากนครมีสภาพพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ราบลุ่มและป่าชายเลน มีคลองเล็กๆ ระบายน้ำลงสู่คลองปากนครอีกหลายสาย และพื้นที่บางส่วนติดกับทะเลอ่าวไทย และอยู่ห่างจากตัวเมืองนครศรีธรรมราชไม่มาก ทำให้ประชาชนทั่วไปเข้ามาท่องเที่ยวเป็นจำนวนมาก โดยมุ่งเน้นมารับประทานอาหารทะเล และชมทัศนียภาพบริเวณชายฝั่ง รายได้ส่วนใหญ่ได้มาจากการประกอบอาชีพประมง เลี้ยงกุ้ง เลี้ยงปลา รวมถึงเทศบาลตำบลปากนครก็มีแผนยุทธศาสตร์ และแนวการพัฒนาท้องถิ่นเพื่อเป็นศูนย์กลางของอาหารสดทางทะเล และส่งเสริมด้านอาชีพเสริมต่างๆ ให้คนในท้องถิ่น (เทศบาลตำบลปากนคร, 2553)

ผลจากโครงการศึกษาคุณภาพน้ำทั่วไป ที่ส่งออกสู่ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนล่าง ของศูนย์วิจัยทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอ่าวไทย ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช ถึงจังหวัดนราธิวาส โดยทำการสำรวจข้อมูลคุณภาพน้ำ รวมถึงศึกษาการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของคุณภาพน้ำและตะกอนดินในพื้นที่ชายฝั่งอ่าวไทยตอนล่าง เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน และวิเคราะห์สถานการณ์คุณภาพน้ำทะเล ผลการเปรียบเทียบคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งบริเวณอ่าวไทยตอนล่างกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล พบว่าปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด ที่ตรวจวัดได้จากสถานีที่ 19 บ้านปากนคร จังหวัดนครศรีฯ เดือนพฤศจิกายน 2553 พบว่า มีค่า 2200 MPN/100 ml และเดือนเมษายน 2554 มีค่า 1,100 MPN/100ml ซึ่งมีค่าสูงเกินค่ามาตรฐาน ที่กำหนดไว้ให้ไม่เกิน 1000MPN/100ml (ศูนย์วิจัยทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอ่าวไทยตอนล่าง, 2554)

Coliform bacteria นิยมใช้เป็นดัชนีบ่งชี้สุขาภิบาลของอาหารและน้ำ เนื่องจากแบคทีเรียในกลุ่มนี้คือ *E. coli* มีแหล่งอาศัยในลำไส้ของคนและ

สัตว์เลื้อยคลาน ดังนั้นการตรวจพบ *E. coli* ในอาหารและน้ำดื่มจึงแสดงว่าการปนเปื้อนอุจจาระ ซึ่งบ่งชี้ถึงลักษณะสุขาภิบาลการผลิตของอาหารและน้ำนั้นไม่สะอาดพอ และมีแนวโน้มที่จะมีแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของโรคทางเดินอาหาร เช่น *Salmonella* และ *Shigella* ซึ่งเป็นแบคทีเรียในกลุ่มเดียวกันปนเปื้อนอยู่ในอาหารและน้ำนั้น อาจก่อให้เกิดโรคเกี่ยวกับทางเดินอาหาร เช่น โทฟอยด์ บิด และอหิวาต์ จะมีผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพของคนผู้บริโภค และผู้ที่ใช้น้ำในแหล่งน้ำ

โอโซนเป็นก๊าซที่มีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรงกว่าคลอรีน 1.5 เท่าจึงมีประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อที่ก่อโรคในอาหาร ผัก และผลไม้ได้ดีกว่าคลอรีนและสารฆ่าเชื้อตัวอื่น แต่ไม่ก่อปัญหาสารเคมีตกค้าง เนื่องจากโอโซนสามารถสลายตัวเป็นออกซิเจนได้ สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (USFDA) ได้ประกาศให้โอโซนเป็นสารที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้อย่างปลอดภัย (GRAS; Generally Recognized As Safe) (Guzel-Seydim, 2004) ตัวอย่างเช่น การลดการปนเปื้อน *Salmonella* spp. และ *Listeria* sp. ที่มักปนเปื้อนบนหนังหมู พบว่าเมื่อฉีดพ่นโอโซนนานขึ้นและเวลาการสัมผัสนานขึ้น จะมีประสิทธิภาพการทำลายเชื้อแกรมลบ *Salmonella* spp. และแกรมบวก *Listeria* sp. ได้เพิ่มขึ้น (สืบเนื่อง ชัยชนะ, 2550) และสามารถลด *total coliform* และ *Psychrotrophs* ใน Channel catfish filets และลดจำนวนแบคทีเรียแกรมลบ เช่น *Acinetobacter*, *Pseudomonas* และ *Aeromonas* ได้ แต่ไม่มีผลต่อแบคทีเรียแกรมบวก นอกจากนี้ยังชี้ว่าอายุการเก็บได้มากกว่า 25% (Kim, 2000)

จากสาเหตุสำคัญต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น การศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาการปนเปื้อนของแบคทีเรียในอาหารทะเล บริเวณบ้านปาก

นคร จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งเป็นปัญหาที่จะส่งผลกระทบต่อ การดำเนินชีวิตของคนในพื้นที่ โดยระบบพลาสมาโอโซนในเซอร์ เพื่อใช้งานในพื้นที่

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาการปนเปื้อนของแบคทีเรียในอาหารทะเล บริเวณบ้านปากนคร จ.นครศรีธรรมราช
2. สร้างระบบพลาสมาโอโซนในเซอร์ เพื่อใช้งานในพื้นที่ศึกษา
3. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตโอโซน เพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้กับอาหารทะเล

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด โคลิฟอร์มแบคทีเรีย และ *E.coli* ในตัวอย่างอาหารทะเล

1.1 การเก็บตัวอย่าง

ลงพื้นที่ตามตำแหน่งที่มีการรายงานสภาพปัญหา เพื่อเก็บตัวอย่างอาหารทะเลในเขตเทศบาลตำบลปากนคร อ.เมือง จ.นครศรีธรรมราช จำนวน 6 ชนิด ได้แก่ ปลาตะกรับ กุ้งกุลาดำ ปูดำ กุ้งดึกแดน หอยแมลงภู่ และปลาเกะ 2 ชนิดละ 2 ตัวอย่าง โดยทำการออกพื้นที่เก็บตัวอย่าง 3 ครั้ง เก็บรักษาในน้ำแข็งควบคุมอุณหภูมิไม่ให้เกิน 4 องศาเซลเซียส ระหว่างเวลาตั้งแต่เก็บตัวอย่างจนถึงการตรวจ ไม่เกิน 3 ชั่วโมง เพื่อศึกษาปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด ปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียและ *E. coli* และใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นของชนิด และปริมาณแบคทีเรียในอาหารทะเลสด

1.2 การวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด

นำตัวอย่าง 25 กรัม ใส่ในสารละลาย 0.85% Normal Saline ปริมาตร 225 มิลลิลิตร บดให้ละเอียดด้วยเครื่อง Stomacher ทำการเจือจางตัวอย่างที่ระดับ 10^{-2} - 10^{-5} ด้วยสารละลาย 0.85% Normal Saline ปริมาตร 9 มิลลิลิตร คูดสารละลายตัวอย่างแต่ละ

ความเจือจางปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร Spread ลงบนอาหาร Plate count agar (PCA) บ่มที่อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บันทึกผลปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่เกิดขึ้น (US. FPD, 1998)

1.3 การวิเคราะห์ปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียและ *E.coli* ทำการวิเคราะห์ปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียและ *E. coli* ในตัวอย่างอาหารทะเล ดังนี้

การทดสอบ Presumptive test

1) นำตัวอย่างอาหารทะเลที่ระดับความเจือจาง 10^{-1} - 10^{-3} จำนวน 1 มิลลิลิตร ถ่ายลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Lauryl Sulfate Tryptone (LST) ความเข้มข้น 2 เท่า ซึ่งบรรจุหลอดจำนวน 9 มิลลิลิตร ทำซ้ำความเจือจางละ 3 หลอด

2) นำไปเพาะเชื้อที่ 35 °C ตรวจการเกิดกรดและก๊าซภายใน 24 ชั่วโมง ถ้าไม่พบนำไปเพาะเชื้อต่อจนครบ 48 ชั่วโมง แล้วบันทึกผล

Confirm test

1) นำ loop เขี่ยเชื้อจากหลอดบรรจุอาหาร LST ที่ให้ผลบวก ใส่ลงในอาหาร EC

2) นำไปเพาะเชื้อที่ 35 °C ตรวจการเกิดกรดและก๊าซภายใน 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมงตามลำดับคำนวณค่า coliform bacteria จากตาราง MPN Index

Complete test สำหรับ *E. coli*

เขี่ยเชื้อจากหลอดบรรจุอาหาร EC ที่ให้ผลบวกมา streak ลงบนอาหาร Eosin Methylene Blue agar (EMB) เพื่อแยกเชื้อ นำไปเพาะเชื้อที่ 35°C เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง ถ้าเป็นเชื้อ *E. coli* จะให้โคโลนีที่มีลักษณะเป็น metallic sheen (US. FPD, 1998)

2. การออกแบบ และทดสอบระบบปั๊ม อิเล็กทรอนิกส์สำหรับพลาสมาไอโซไนเซอร์ และการหา ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไอโซน

2.1 การออกแบบและทดสอบระบบปั๊มอิเล็กทรอนิกส์ สำหรับพลาสมาไอโซไนเซอร์

ศึกษาผลการออกแบบหลอดไอโซไนเซอร์
และวงจรไฟฟ้าแรงสูง ที่ได้จากการใช้ขดลวดเป็นตัว
จ่ายไฟแรงสูง โดยพิจารณาความต่างศักย์ และความถี่
ของเครื่องกำเนิดไอโซนด้วยเครื่องออสซิลโลสโคป

2.2 ศึกษาอัตราการไหลของออกซิเจนที่ เหมาะสมในการผลิตไอโซน โดยใช้อัตราการไหล 1, 2, 3 และ 4 ลิตรต่อนาที ที่ความต่างศักย์ 6, 7 และ 8 กิโลโวลต์

2.3 หาความเข้มข้นของปริมาณไอโซนที่ ความต่างศักย์ต่างๆ พิจารณาใช้อัตราการไหลที่ได้ ปริมาณไอโซนมากที่สุด ใช้ความต่างศักย์ 6, 7 และ 8 กิโลโวลต์ ที่เวลา 1, 2 และ 3 นาที

3. การศึกษาประสิทธิภาพการลดเชื้อที่ปนเปื้อน บนอาหารทะเลด้วยการผ่านไอโซน

ศึกษาประสิทธิภาพการลดเชื้อที่ปนเปื้อน
บนอาหารทะเล ด้วยระบบการผ่านไอโซนที่เตรียมมา
ข้างต้น โดยศึกษาอิทธิพลของเวลาที่ผ่าน 1, 2 และ 3
นาที อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน 2 ลิตรต่อนาที
ที่อุณหภูมิห้อง ($30 \pm 2^{\circ}\text{C}$) ต่อประสิทธิภาพการ
ลดปริมาณจุลินทรีย์รวม เชื้อ *E. coli* ที่ปนเปื้อนบน
อาหารทะเล ตรวจสอบจำนวนเชื้อที่เหลือตามข้อ 1.2

และ 1.3 นำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การลดลงของ
ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่
ผ่านไอโซน

ผลการวิจัย

1. ผลการวิเคราะห์แบคทีเรียทั้งหมดใน

ตัวอย่างอาหารทะเล

จากการตรวจสอบปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด
ในตัวอย่างอาหารทะเลสด ที่เก็บจากบริเวณเขต
เทศบาลตำบลปากนคร อ.เมือง จ.นครศรีธรรมราช
จำนวน 12 ตัวอย่าง เพื่อใช้เป็นชุดควบคุมพบว่า
ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด โดยในทุกตัวอย่าง พบว่า
ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดที่พบ อยู่ในปริมาณที่สูงเกิน
เกณฑ์ทั้งหมด และจากการวิเคราะห์ปริมาณโคลิ
ฟอร์มแบคทีเรียและ *E. coli* ในตัวอย่างอาหารทะเล
สด พบว่าในตัวอย่างปลาตะกรับ และกุ้งกุลาดำ มี
ปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรีย 460 และ 93 MPN/g
ตามลำดับ, หอยแมลงภู่ และปลาเก๋มีปริมาณโคลิ
ฟอร์มแบคทีเรียมากกว่า 1,000 MPN/g ส่วนปลู๊ด และ
กั้งตึกแตน มีปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรีย 240 MPN/g
ซึ่งปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียที่พบ อยู่ในปริมาณสูง
เกินเกณฑ์ทั้งหมด และในตัวอย่างทั้ง 6 ตัวอย่าง มี
การปนเปื้อนเชื้อ *E. coli* (สำนักงานมาตรฐานสินค้า
เกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2552)



ตารางที่ 1 ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดที่พบในตัวอย่างอาหารทะเลสด

ตัวอย่าง	ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (CFU/g)		ค่าเฉลี่ย (CFU/g)
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	
ปลาตะกรับ <i>Scatophagus argus</i>	2.5×10^8	2.3×10^8	2.4×10^8
กุ้งกุลาดำ <i>Penaeus monodon</i>	1.9×10^8	2.2×10^8	2.0×10^8
ปูดำ <i>Scylla serrata</i>	1.8×10^6	2.1×10^6	2.0×10^6
กั้งตึกแดน <i>Oratosquilla neap</i>	3.7×10^8	3.4×10^8	3.6×10^8
หอยแมลงภู่ <i>Perna viridis</i>	3.6×10^8	3.8×10^8	3.7×10^8
ปลากุลเลา <i>Eleutheronema tebradactylum</i>	9.0×10^8	8.8×10^8	8.9×10^8

ตารางที่ 2 ปริมาณ โคลิฟอร์มแบคทีเรียในตัวอย่างอาหารทะเลสดบริเวณเขตเทศบาลตำบลปากนคร
อ.เมือง จ.นครศรีธรรมราช

ตัวอย่าง	MPN index (MPN/g)	EMB agar (metallic sheen colony)
ปลาตะกรับ <i>Scatophagus argus</i>	460	✓
กุ้งกุลาดำ <i>Penaeus monodon</i>	93	✓
ปูดำ <i>Scylla serrata</i>	240	✓
กั้งตึกแดน <i>Oratosquilla neap</i>	240	✓
หอยแมลงภู่ <i>Perna viridis</i>	>1,100	✓
ปลากุลเลา <i>Eleutheronema tebradactylum</i>	>1,100	✓

2. ผลการออกแบบ และทดสอบระบบขับอิเล็กทรอนิกส์สำหรับพลาสมาไอโซไนเซอร์ และการหาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไอโซน

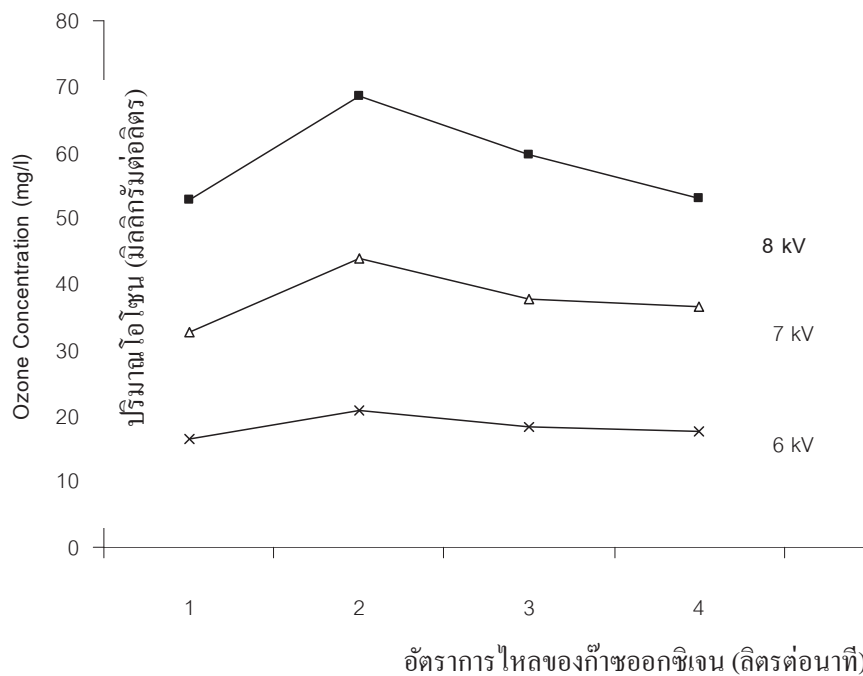
2.1 การออกแบบและทดสอบระบบขับอิเล็กทรอนิกส์สำหรับพลาสมาไอโซไนเซอร์

ความต่างศักย์ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูงได้ อยู่ในระดับกิโลโวลต์ โดยสัญญาณที่วัดได้ถึงระดับ 16 กิโลโวลต์ ความถี่อยู่ที่ประมาณ 2.05 กิโลเฮิร์ต

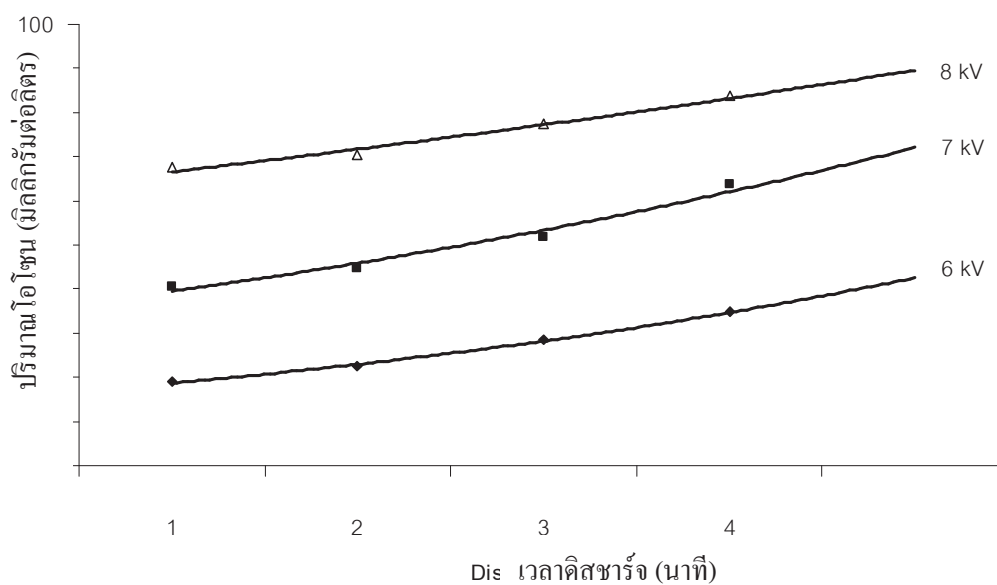
ที่ความต่างศักย์ 6 กิโลโวลต์ ปริมาณไอโซนที่เกิดขึ้นเป็น 16.5, 20.8, 18.3 และ 17.67 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน 1, 2, 3 และ 4 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ ที่ความต่างศักย์ 7 กิโลโวลต์ ปริมาณไอโซนที่เกิดขึ้นเป็น 32.75, 43.84, 37.78 และ 36.62 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน 1, 2, 3 และ 4 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ ที่ความต่างศักย์ 8 กิโลโวลต์ ปริมาณไอโซนที่เกิดขึ้นเป็น 52.68, 68.47, 59.71 และ 53.11 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน 1, 2, 3 และ 4 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ เมื่อให้เงื่อนไขของศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบ และปัจจัยอื่นๆ ให้มีค่าคงที่ พบว่าอัตราการไหลของก๊าซที่เพิ่มขึ้นในช่วงหนึ่งเท่านั้นจะทำให้ปริมาณการเกิดไอโซนเพิ่มขึ้น

โดยในงานวิจัยนี้อัตราการไหล 2 ลิตรต่อนาที เป็นอัตราการไหลที่ทำให้เกิดไอโซนมากที่สุด และหลังจากอัตราการไหลช่วงนี้แล้ว ปริมาณการเกิดไอโซนจะลดลง เนื่องจากศักย์ไฟฟ้าที่ให้ เพื่อให้ทำให้เกิดการแตกตัวระดับหนึ่งที่ทำให้สามารถผลิตไอโซนได้มากที่สุด มีสาเหตุมาจาก ณ ปริมาณศักย์ไฟฟ้าคงที่นั้น พลังงานที่ป้อนให้กับระบบคงที่ซึ่งเพียงพอต่อจำนวนโมเลกุลของออกซิเจนขนาดหนึ่ง ดังนั้นหากเพิ่มปริมาณโมเลกุลของออกซิเจนมากขึ้น โดยเพิ่มอัตราการไหล จึงเป็นผลให้ปริมาณโมเลกุลบางส่วนไม่สามารถถูกดิสชาร์จและเปลี่ยนไปเป็นไอโซนได้อีกเหตุผลหนึ่งมาจาก การที่อัตราการไหลของอากาศสูงๆ จะทำให้โมเลกุลของออกซิเจนไหลผ่านเร็วมากในบริเวณช่องว่างดิสชาร์จทำให้โมเลกุลของก๊าซส่วนมากไม่ได้ถูกทำให้แตกตัว ในเวลาที่เหมาะสมทำให้ปริมาณไอโซนต่ำกว่าที่อัตราการไหลต่ำ





ภาพที่ 1 แสดงที่อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน 1, 2, 3 และ 4 ลิตรต่อนาที่ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าในช่วง 6, 7 และ 8 กิโลโวลต์



ภาพที่ 2 แสดงปริมาณโอโซนที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 6, 7 และ 8 กิโลโวลต์ ที่อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน 2 ลิตรต่อนาที่ ที่เวลาดีสชาร์จใน 1, 2, 3 และ 4 นาที

จากผลของการทดลอง พบว่า ที่ความต่างศักย์ 6 กิโลโวลต์ ปริมาณโอโซนที่เกิดขึ้นเป็น 18.87, 22.54, 28.36 และ 34.74 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เวลา 1, 2, 3 และ 4 นาที ตามลำดับ ที่ความต่างศักย์ 7 กิโลโวลต์ ปริมาณโอโซนที่เกิดขึ้นเป็น 40.58, 44.64, 51.74 และ 63.87 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เวลา 1, 2, 3 และ 4 นาที ตามลำดับ ที่ความต่างศักย์ 8 กิโลโวลต์ ปริมาณโอโซนที่เกิดขึ้นเป็น 67.44, 70.26, 77.38 และ 83.64 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เวลา 1, 2, 3 และ 4 นาที ตามลำดับ ปริมาณความเข้มข้นของการเกิดโอโซนกับการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนให้กับระบบ แสดงดังภาพที่ 2 พบว่า ที่เวลาเดียวกันปริมาณการเกิดโอโซนจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของศักย์ไฟฟ้า สามารถเขียนแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของโอโซนกับเวลาการเกิด และได้ว่า

การเปลี่ยนแปลงเวลาการเกิดสารจึงทำให้ปริมาณโอโซนเพิ่มขึ้นเนื่องจากเวลาในการเกิดสารจึงเพิ่มขึ้น ซึ่งก็คือเวลาในการทำให้ก๊าซออกซิเจนแตกตัวแล้วรวมกันเป็นโอโซนมีมากขึ้นก็ย่อมได้โอโซนมากขึ้น คือปริมาณ yield ที่ได้เป็นฟังก์ชันกับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขั้วอิเล็กโตรด

3. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการลดเชื้อที่ปนเปื้อนบนอาหารทะเลด้วยการผ่านโอโซน

จากตอนที่ 2 ที่ได้มีการตรวจสอบปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตโอโซน ในงานวิจัยนี้จึงกำหนดความต่างศักย์ที่ใช้ในการทดลองที่ 6 กิโลโวลต์ อัตราการไหลของออกซิเจน 2 ลิตรต่อนาที เป็นค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้กับอาหารทะเล

ตารางที่ 3 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในตัวอย่างอาหารทะเลก่อนและหลังการผ่านโอโซนเป็นเวลา 1 นาที

ตัวอย่าง	ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (CFU/g)		%การลดลง
	ก่อนผ่านโอโซน	หลังผ่านโอโซน	
ปลาตะกรับ <i>Scatophagus argus</i>	2.5×10^8	1.3×10^8	48.06
กุ้งกุลาดำ <i>Penaeus monodon</i>	1.9×10^8	1.0×10^8	47.37
ปูดำ <i>Scylla serrata</i>	1.8×10^6	1.1×10^6	38.89
กั้งคึกแต่น <i>Oratosquilla neap</i>	3.7×10^8	1.8×10^8	51.35
หอยแมลงภู่ <i>Perna viridis</i>	3.6×10^8	1.7×10^8	52.78
ปลาเก๋เตา <i>Eleutheronema tebradactylum</i>	9.0×10^8	4.6×10^8	48.88

ตารางที่ 4 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในตัวอย่างอาหารทะเลก่อนและหลังการผ่านโอโซนเป็นเวลา 2 นาที

ตัวอย่าง	ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (CFU/g)		%การลดลง
	ก่อนผ่านโอโซน	หลังผ่านโอโซน	
ปลาตะกรับ <i>Scatophagus argus</i>	2.5×10^8	5.8×10^7	76.80
กุ้งกุลาดำ <i>Penaeus monodon</i>	1.9×10^8	4.9×10^7	74.21
ปูดำ <i>Scylla serrata</i>	1.8×10^6	6.0×10^5	66.67
กั้งตึกแตน <i>Oratosquilla neap</i>	3.7×10^8	7.9×10^7	78.65
หอยแมลงภู่ <i>Perna viridis</i>	3.6×10^8	7.3×10^7	79.72
ปลากุเลา <i>Eleutheronema tebradactylum</i>	9.0×10^8	2.5×10^8	72.22

ตารางที่ 5 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในตัวอย่างอาหารทะเลก่อนและหลังการผ่านโอโซนเป็นเวลา 3 นาที

ตัวอย่าง	ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (CFU/g)		%การลดลง
	ก่อนผ่านโอโซน	หลังผ่านโอโซน	
ปลาตะกรับ <i>Scatophagus argus</i>	2.5×10^8	3.2×10^6	98.72
กุ้งกุลาดำ <i>Penaeus monodon</i>	1.9×10^8	6.5×10^6	96.58
ปูดำ <i>Scylla serrata</i>	1.8×10^6	1.5×10^5	91.70
กั้งตึกแตน <i>Oratosquilla neap</i>	3.7×10^8	5.3×10^4	99.98
หอยแมลงภู่ <i>Perna viridis</i>	3.6×10^8	9.7×10^4	99.97
ปลากุเลา <i>Eleutheronema tebradactylum</i>	9.0×10^8	1.6×10^7	98.24

สรุปผลการวิจัย

จากตารางที่ 3, 4 และ 5 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ในตัวอย่างอาหารทะเลก่อนและหลังการผ่านโอโซนเป็นเวลา 1, 2, 3 นาที ตามลำดับ และค่าเปอร์เซ็นต์การลดลง ของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด พบว่า ในทุกตัวอย่างมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ในตัวอย่างเห็นได้อย่างชัดเจน โดยเมื่อเวลาในการสัมผัสกับโอโซนมากขึ้น ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดก็จะลดลง ค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดก็จะยิ่งเพิ่มมากขึ้น โอโซนสามารถทำลายแบคทีเรียได้ โดยการทำลายเกิดขึ้นที่เยื่อหุ้มเซลล์ชั้นนอกของแบคทีเรีย จากนั้นจะทำให้เกิดการรั่วไหล ของโปรตีนภายในเซลล์ออก

สู่ภายนอกเซลล์ และสุดท้ายจะทำให้เกิดการแตกสลายของเซลล์ ซึ่งจะทำให้โอโซนสามารถเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารโปรตีนได้อย่างสมบูรณ์ (Hunt & Marinas, 1999) พิจารณาหลังจากการผ่านโอโซนสัมผัสกับอาหารทะเล 3 นาที พบว่า จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดลดลงอย่างน้อย 1 log CFU/g ในตัวอย่างปูดำ กับปลาเกะ, ลดลง 2 log CFU/g ในตัวอย่างปลาตะกรับกับกุ้ง และลดลง 4 log CFU/g ในตัวอย่างกั้งกับหอยแมลงภู่ ทั้งนี้การที่โอโซนสามารถทำลายจุลินทรีย์ได้ มาจากการที่โอโซนเป็นก๊าซที่ไม่คงตัว จะแตกสลายให้ก๊าซออกซิเจน และออกซิเจนอะตอมเดี่ยวๆอะตอมของออกซิเจนที่แตกตัวบางส่วนจะทำหน้าที่เป็น oxidizing agents ที่ทำลายจุลินทรีย์ได้

ตารางที่ 6 ปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียในตัวอย่างอาหารทะเลสดบริเวณเขตเทศบาลตำบลปากนคร อ.เมือง จ.นครศรีธรรมราช หลังผ่านโอโซนนาน 3 นาที

ตัวอย่าง	MPN index (MPN/g)		EMB agar (metallic sheen colony)	
	ก่อนผ่านโอโซน	หลังผ่านโอโซน	ก่อนผ่านโอโซน	หลังผ่านโอโซน
ปลาตะกรับ	460	43	✓	✓
กุ้ง	93	43	✓	✗
ปูดำ	240	240	✓	✓
กั้ง	240	93	✓	✓
หอยแมลงภู่	>1,100	>1,100	✓	✓
ปลาเกะ	>1,100	240	✓	✗

หมายเหตุ : ✓ พบเชื้อ E. coli บนอาหาร EMB ในขั้น Confirm Test
✗ ไม่พบเชื้อ E. coli บนอาหาร EMB ในขั้น Confirm Test

สรุปผลการวิจัย

จากตารางที่ 3, 4 และ 5 แสดงปริมาณ จุลินทรีย์ทั้งหมดในตัวอย่างอาหารทะเลก่อนและ หลังการผ่านโอโซนเป็นเวลา 1, 2, 3 นาที ตามลำดับ และค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาณจุลินทรีย์ ทั้งหมด พบว่า ในทุกตัวอย่างมีเปอร์เซ็นต์การลดลง ของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในตัวอย่างเห็นได้อย่าง ชัดเจน โดยเมื่อเวลาในการสัมผัสกับโอโซนมากขึ้น ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดก็จะลดลง ค่าเปอร์เซ็นต์การ ลดลงของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดก็จะยิ่งเพิ่มมากขึ้น โอโซนสามารถทำลายแบคทีเรียได้โดยการทำลาย เกิดขึ้นที่เยื่อหุ้มเซลล์ชั้นนอกของแบคทีเรีย จากนั้น จะทำให้เกิดการรั่วไหลของโปรตีนภายในเซลล์ออกสู่ ภายนอกเซลล์ และสุดท้ายจะทำให้เกิดการแตกสลาย ของเซลล์ ซึ่งจะช่วยให้โอโซนสามารถเข้าไปทำ ปฏิกริยากับสารโปรตีนได้อย่างสมบูรณ์

พิจารณาหลังจากการผ่านโอโซนสัมผัสกับ อาหารทะเล 3 นาที พบว่า จำนวนแบคทีเรียทั้งหมด ลดลงอย่างน้อย $1 \log \text{CFU/g}$ ในตัวอย่างปูดำกับปลา กูเลา, ลดลง $2 \log \text{CFU/g}$ ในตัวอย่าง ปลาตะกรับกับ กุ้ง และลดลง $4 \log \text{CFU/g}$ ในตัวอย่างกุ้งกับ หอยแมลงภู่ ทั้งนี้การที่โอโซนสามารถทำลาย จุลินทรีย์ได้มาจากการที่โอโซนเป็นก๊าซที่ไม่คงตัวจะ แตกสลายให้ก๊าซออกซิเจนและออกซิเจนอะตอม เรื่อยๆ อะตอมของออกซิเจนที่แตกตัวบางส่วนจะทำ หน้าที่เป็น oxidizing agents ที่ทำลายจุลินทรีย์ได้

ในส่วนการวิเคราะห์ปริมาณ โคลิฟอร์ม-แบคทีเรียและ *E. coli* ในตัวอย่างอาหารทะเลสด พบว่ามีเชื้อ *E. coli* ปนเปื้อนในตัวอย่างก่อนการผ่าน โอโซน เป็นค่าที่อยู่ในระดับเกินเกณฑ์มาตรฐานทั้ง ปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรีย และปริมาณ MPN Fecal coliform/กรัม สาเหตุของปริมาณ โคลิฟอร์ม

แบคทีเรียที่เกินมาตรฐานอาจมีผลมาจาก กระบวนการเตรียมวัตถุดิบ และการปนเปื้อนของน้ำ ที่ทิ้งที่ทิ้งลงสู่บริเวณเทศบาลตำบลปากนคร อย่างไรก็ตาม เมื่อนำตัวอย่างอาหารทะเลมาผ่านโอโซน พบว่า ปลาตะกรับ กุ้ง กุ้ง และปลากูเลา มีค่าปริมาณโคลิ โฟอร์มแบคทีเรียที่ปนเปื้อนทั้งหมดลดลงอย่างเห็นได้ ชัดเจน ส่วนในปูดำ และหอยแมลงภู่ มีค่าปริมาณโคลิ โฟอร์มแบคทีเรียที่ปนเปื้อนมีค่าไม่ลดลง ทั้งนี้อาจ เป็นเพราะเวลาในการสัมผัสโอโซนอาจน้อยเกินไป เนื่องจากในการทดลองกำหนดเวลาในการสัมผัส โอโซนนาน 3 นาที ในกรณีของปูดำ และหอยแมลงภู่ อาจต้องใช้เวลาในการสัมผัสโอโซนที่มากกว่า 3 นาที

เมื่อนำตัวอย่างมาวิเคราะห์หาปริมาณโคลิ โฟอร์มแบคทีเรียและ *E. coli* พบว่าเมื่อผ่านโอโซน สัมผัสกับตัวอย่าง ปริมาณ โคลิฟอร์มแบคทีเรียและ *E. coli* ลดลงในทุกตัวอย่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งใน ตัวอย่าง กุ้ง และปลากูเลา ที่ไม่พบการเจริญของเชื้อ *E. coli* หลังจากการผ่านโอโซน ดังแสดงในตารางที่ 6 แต่อย่างไรก็ตามปริมาณ MPN Fecal coliform / กรัม ยังคงสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด ทั้งนี้เนื่อง จากปริมาณเชื้อเริ่มต้นที่มีอยู่สูงก่อนการผ่านโอโซน

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย จากมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช สำนักงาน คณะกรรมการการอุดมศึกษา และผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏ นครศรีธรรมราช ที่ประสานและดูแลงบประมาณ ด้านการวิจัยสำหรับงานวิจัย และขอขอบคุณคณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่สนับสนุนด้านการใช้ เครื่องมืออุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ

เอกสารอ้างอิง

- เทศบาลตำบลปากนคร อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช. (2553). แผนยุทธศาสตร์การพัฒนา พ.ศ.2554 - 2559. ค้นเมื่อ 16 กันยายน 2554, จาก <http://www.paknakhoncity.go.th>
- ศูนย์วิจัยทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอ่าวไทยตอนล่าง. (2554). โครงการติดตามตรวจสอบสภาพสิ่งแวดล้อมชายฝั่งทะเล. ค้นเมื่อ 14 กันยายน 2554, จาก http://www.smcrrc.go.th/lake_Oceanography.html
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2552). ข้อกำหนดด้านความปลอดภัยสินค้าเกษตรและอาหาร. ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. ราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 123 ตอนพิเศษ 7. ลงวันที่ 19 มกราคม 2549.
- สืบเนื่อง ชัยชนะ และคนอื่นๆ. (2550). ประสิทธิภาพการลดเชื้อ *Salmonella* spp. และ *Listeria* sp. บนซากสุกรโดยการฉีดพ่นด้วยสารละลายโอโซน. ว. วิทย์. กษ. 38: 5 (พิเศษ). 395-398.
- Guzel-Seydim, Z., Bever Jr., P.I. & Greene, A.K. (2004). Efficacy of ozone to reduce bacterial populations in the presence of food components. **Food Microbiology**, 21, 475-479.
- Hunt, Nimrata K., & Marinas., Benito J. (1999). Inactivation of *Escherichia coli* with ozone chemical and inactivation kinetics. **Water Research**, 33, 2633-2641.
- Kim, T. J., Silva, J. L., Chamul, R. S., & Chen T. C. (2000). Influence of ozone, Hydrogenperoxide, or Salt on Microbial Profile, TBARS and Color of Channel Cat Fish Fillets. **Jornal of Food Science**, 65(7), 1210-1213.
- US. FPD. (1998). **Bacteriological Analytical Manual**. (8th ed.) Gaithersburg: AOAC international

